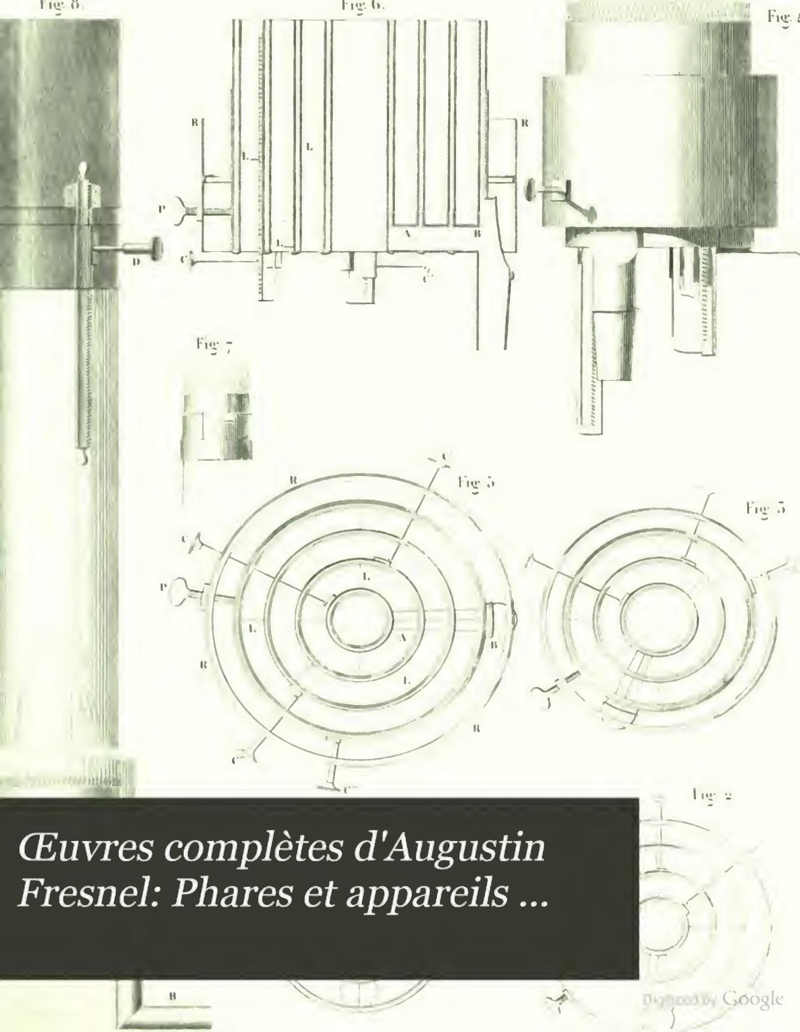

Fig. 8.
Fig. 6.
Fig. 7
Fig. 5
Fig. 3
Fig. 2
Œuvres complètes d'Augustin Fresnel: Phares et appareils ...





(Fresnol)

ŒUVRES

COMPLÈTES

D'AUGUSTIN FRESNEL

PUBLIÉES PAR LES SOINS

DU MINISTRE DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE

ŒUVRES

COMPLÈTES

D'AUGUSTIN FRESNEL

PUBLIÉES

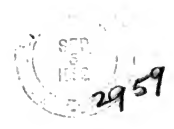
PAR MM. HENRI DE SENARMONT, ÉMILE VERDET
ET LÉONOR FRESNEL

TOME TROISIÈME



PARIS
IMPRIMERIE IMPÉRIALE

M DCCC LXX



INTRODUCTION

AUX MÉMOIRES,

NOTES ET FRAGMENTS D'AUGUSTIN FRESNEL SUR LES PHARES,

PAR LÉONOR FRESNEL[a].

Nous avons prévenu le lecteur, dans l'Avertissement général placé en tête de cette publication, que les écrits d'Augustin Fresnel relatifs aux phares maritimes ne renferment pas tous les éléments d'une exposition complète du système d'éclairage auquel il

[a] Il n'a pas été donné à M. Léonor Fresnel de terminer la publication des Œuvres de son frère. Cependant, lorsqu'il succomba, le 20 mars 1869, le travail était assez avancé pour qu'il espérât le mener à bonne fin. La deuxième section, relative aux phares, était entièrement en bonnes feuilles, ainsi qu'une partie des tables analytiques. Le reste était composé en placards. Les planches étaient toutes gravées, mais une partie seulement avait été revue par l'éditeur. M. Léonor Fresnel avait également préparé une introduction au troisième volume, section des phares, dont le manuscrit n'avait pas encore été remis à l'Imprimerie impériale.

Sur la proposition du comité des Sociétés savantes, Son Exc. M. Bourbeau, ministre de l'instruction publique, nous chargea, par arrêté en date du 27 octobre 1869, de terminer la publication des Œuvres de Fresnel.

Grâce à l'obligeance de Mme Léonor Fresnel, nous avons pu rechercher dans les papiers de son mari toutes les indications propres à nous aider dans l'accomplissement de notre tâche. C'est ainsi que nous avons retrouvé les épreuves de la majeure partie des planches portant encore les corrections les plus minutieuses, ainsi que les épures originales qui avaient servi à les graver et qui toutes étaient tracées de la main de M. Léonor Fresnel. Grâce à ces précieuses indications, il nous a été permis de respecter scrupuleusement les intentions de l'éditeur.

L'Introduction seule manquait, et ne fut retrouvée que plus tard, dans une liasse de

a attaché son nom. Déjà très-affaibli par une maladie de langueur à l'époque où il fut appelé à la direction des phares, il se trouva tellement absorbé par les exigences de sa nouvelle position, qu'il mourut sans laisser de notes descriptives des derniers perfectionnements introduits par lui dans la composition de ses appareils lenticulaires. Parmi les plus fâcheuses lacunes de ce genre, nous avons particulièrement signalé celle qui concerne les *fanaux catadioptriques à réflexion totale*. A part des minutes de calculs sommairement annotés et quelques épures ou croquis, les manuscrits de Fresnel ne fournissent aucun développement sur cette ingénieuse et féconde combinaison, qui a porté le système des phares lenticulaires au plus haut degré de perfection théorique et pratique.

Au premier abord, nous avions jugé presque impossible de combler de tels vides, sans surcharger le petit nombre de textes à pu-

---

papiers dont la famille de M. Léonor Fresnel avait confié l'examen à M. Cornu, professeur à l'École polytechnique. C'est cette Introduction que nous reproduisons ici.

Le manuscrit était au net dans presque toutes ses parties; néanmoins l'auteur avait indiqué sur la couverture même l'intention de le revoir et d'en réduire l'étendue. M. Léonce Reynaud, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur des phares, a bien voulu se charger de ce travail. Lui seul en effet, à raison de sa liaison intime et ancienne avec la famille Fresnel, pouvait apporter dans cette révision posthume l'autorité d'une haute expérience et les délicatesses d'une vieille amitié.

Il a fait exécuter, d'après le texte de l'Introduction, les figures que M. Léonor Fresnel avait à peine indiquées; une planche nouvelle, la planche IX *bis*, a été dessinée sous sa direction. Les lapsus échappés à la rapidité de la rédaction ont été corrigés, et enfin nous avons, d'un commun accord, supprimé quelques passages qui faisaient double emploi avec d'autres paragraphes de l'Introduction ou de l'ouvrage lui-même.

La publication des Œuvres de Fresnel se trouve donc achevée conformément aux indications de son frère. Qu'il nous soit permis de rendre hommage au pieux dévouement, à l'ardeur infatigable que M. Léonor Fresnel apporta, jusqu'à la dernière heure, dans l'accomplissement de la tâche difficile à laquelle il s'est donné tout entier pendant de longues années et qu'il eût été si heureux de terminer lui-même.

Puissions-nous avoir été le fidèle interprète de ses intentions!

Paris, 25 mai 1870. J. Lissajous.

blier d'annotations dont l'étendue eût pu sembler démesurée, ou sans sortir de notre rôle de simple éditeur par la production d'une espèce de traité sur les phares. Entre ces deux partis extrêmes il y avait à chercher un juste milieu; or voici la solution où nous ont amené divers essais tendant à ne rien omettre d'essentiel, tout en nous renfermant dans d'assez étroites limites.

Après avoir scrupuleusement extrait des manuscrits de Fresnel relatifs aux phares, ou à l'éclairage en général, tout ce qui nous a paru de nature à figurer utilement dans la publication de ses Œuvres, nous avons tenté de compléter et de commenter ce recueil à l'aide d'une *Introduction*. Les annotations explicatives qu'exigeaient les textes ont pu dès lors être suppléées, en beaucoup de circonstances, par de simples renvois à ce document supplémentaire.

La présente Introduction est divisée en quatre chapitres, comprenant :

Le premier, un *Précis historique* de l'éclairage des côtes maritimes antérieurement à l'invention des phares lenticulaires;

Le deuxième, l'exposé sommaire de la création de ce nouveau système d'éclairage;

Le troisième, les indications ayant pour objet de suppléer au silence de l'auteur sur la composition des fanaux catadioptriques;

Le quatrième, un résumé des dispositions adoptées pour l'application à l'éclairage des côtes de France des appareils imaginés par Fresnel.

Dans une *Note complémentaire* nous indiquons les méthodes de calcul qui ont été suivies par l'inventeur ou qui peuvent être employées pour déterminer les profils générateurs des éléments optiques de ses appareils.

Parmi les documents que nous avions dès l'abord triés et classés comme pouvant être textuellement reproduits, figuraient les pro-

cès-verbaux ainsi que des extraits des registres des expériences faites de 1820 à 1827 sur divers appareils d'éclairage de l'ancien et du nouveau système. Un plus mûr examen nous a fait changer d'avis à cet égard. Nous avons reconnu qu'il il y aurait fort peu d'utilité à grossir notre publication d'une longue série de résultats photométriques, nécessairement très-variables, selon le degré de perfection des appareils, et rapportés en majeure partie à des unités de lumière d'une valeur aujourd'hui assez incertaine. Nous nous sommes donc borné, à cet égard, à un petit nombre d'extraits. Il nous a paru également superflu de nous étendre sur les procédés appliqués à la fabrication des premiers phares lenticulaires, et sur les détails mécaniques de leurs ajustements. Le moulage et la taille des grandes pièces optiques de verre, dont l'exécution avait été originairement si laborieuse, ont fait en peu d'années, grâce à la généreuse émulation des plus habiles artistes, de merveilleux progrès, qui ont accru l'effet utile des appareils lenticulaires et ont en même temps amené d'heureuses innovations dans leur composition. Mais, n'ayant à reproduire ici que l'œuvre d'Augustin Fresnel, nous avons dû nous attacher surtout à ce qui lui est essentiellement personnel et à ce qu'il y a d'immuable dans sa brillante création, c'est-à-dire aux combinaisons théoriques sur lesquelles elle repose.

I.

ÉCLAIRAGE DES CÔTES MARITIMES ANTÉRIEUREMENT À L'INVENTION DES PHARES LENTICULAIRES.

1. Les notions fort incomplètes que nous donnent sur les phares des anciens quelques textes plus ou moins obscurs et diversement commentés n'offrent qu'un médiocre intérêt au point de vue spécial de ce précis historique. Il est très-présumable que l'effet utile

des plus vantés de ces amers nocturnes, sans excepter le fameux monument de l'île de Pharos, était loin de répondre à la hauteur et au luxe architectural des édifices. De simples foyers de bois ou de charbon inégalement entretenus à l'air libre sur une grille de fer [a], ou des lampes fumeuses renfermées dans une lanterne vitrée [b], tels paraissent avoir été les seuls moyens d'illumination des phares antiques.

2. Cette enfance de l'art s'est prolongée jusqu'à nos jours, malgré l'essor que l'invention ou le perfectionnement de la boussole avait fait prendre, dès le xve siècle, à la navigation maritime.

En 1775, nos principaux phares étaient encore éclairés par des foyers de charbon, et c'est seulement à dater de 1807 qu'en Angleterre les chandelles du phare d'Eddystone, qui signale l'entrée de la baie de Plymouth, furent remplacées par des réverbères à lampe d'Argant.

3. Parmi les établissements modernes, ou du moins renouvelés depuis le moyen âge, le phare de Cordouan offre, dans ses nombreuses transformations, un sujet d'étude d'autant plus intéressant qu'elles ont embrassé la série à peu près complète des divers systèmes d'éclairage maritime successivement adoptés jusqu'ici. Nous croyons donc devoir entrer dans quelques détails sur cet établissement justement renommé, où fut faite, en 1823, la première application des appareils lenticulaires imaginés par Augustin Fresnel.

Le plateau de roches qui forme, à deux lieues au large de l'embouchure de la Gironde, l'écueil si dangereux connu des naviga-

[a] Comme on le voit assez nettement figuré sur le bas-relief d'un tombeau antique de la villa Borghèse, à Rome.

[b] Un médaillon de Faustine jeune, du cabinet de la Bibliothèque impériale, présente au revers une tour de phare surmontée d'une lanterne.

teurs sous le nom de *Cordouan*, était signalé, au temps de Henri III, par un très-ancien phare, dont la reconstruction, devenue nécessaire, fut confiée au Parisien Louis de Foix, l'un des architectes de l'Escurial. L'habile artiste, donnant libre carrière à son imagination, projeta, pour être élevé sur cet écueil, que les hautes marées recouvrent de 2 à 3 mètres, un vaste édifice surmonté d'une coupole couronnée d'une lanterne en maçonnerie, dans laquelle devait être installée la grille du foyer, à 41 mètres au-dessus du rocher. Les travaux, commencés en 1584, ne furent complétement achevés qu'en 1610, dernière année du règne de Henri IV.

4. On alimenta le foyer d'abord avec du bois, puis avec du charbon de terre. La portée du feu, suivant Belidor, n'était que d'environ 6 milles marins, en sorte qu'elle aurait à peine dépassé celle de nos petits fanaux actuels d'entrée de ports.

La lanterne en maçonnerie, s'étant trouvée en partie calcinée, dut être remplacée, en 1737, par une cage de fer. On y allumait tous les soirs 225 livres de houille, dont l'incandescence se maintenait jusqu'au jour, avec une intensité progressivement décroissante.

5. Cet état de choses subsista jusqu'en 1782, époque où l'éclairage public devint enfin l'objet d'études sérieuses et rationnellement dirigées, après avoir passé par diverses phases que nous rappellerons sommairement.

Depuis la fin du règne de Henri II (1558), d'où date le premier essai d'éclairage des rues de Paris, jusqu'en 1745, on n'avait pourvu à ce service de sûreté publique qu'au moyen de lanternes garnies de simples chandelles.

En 1667, M. de la Reynie, lieutenant de police, étendait le même mode d'éclairage à tous les quartiers de la capitale, et une médaille commémorative était frappée à cette occasion.

6. Vers le milieu du siècle dernier, on commença à substituer

aux chandelles, dans l'éclairage urbain, des lampes garnies de réflecteurs.

L'imperfection de ces appareils détermina, en 1765, le lieutenant général de police, M. de Sartines, à ouvrir un concours, dont le jugement devait être déféré à l'Académie des sciences, «sur la «meilleure manière d'éclairer les rues d'une grande ville, en com«binant ensemble la clarté, la facilité du service et l'économie.»

Le prix proposé, de 2,000 francs, fut divisé par l'Académie en trois gratifications, qu'elle accorda aux réverbères des sieurs Bailly, Bourgeois et Leroy. Une médaille d'or fut en outre décernée au jeune Lavoisier, pour un mémoire dans lequel, après avoir comparé les *effets utiles* et *économiques* de diverses formes de réflecteurs, il concluait en proposant l'emploi d'un ellipsoïde tronqué à l'un de ses foyers, où eût été placé le bec de lampe.

7. Sans nous arrêter à discuter ce système, notons seulement que l'auteur, tout en écartant la forme parabolique, en avait bien apprécié les effets; mais il exagérait peut-être les conséquences d'une observation dont la justesse a été trop souvent méconnue : c'est que les appareils disposés pour projeter les rayons lumineux en faisceaux peu divergents ne répondent qu'imparfaitement aux conditions d'un bon éclairage des voies publiques.

«S'il s'agissait, disait-il, de porter la lumière au loin, dans un «petit espace quelconque, nous emploierions la parabole; une «lumière étant placée à son foyer, chaque rayon qui en partirait «serait réfléchi par la courbe dans une direction parallèle à l'axe : «ils seraient donc tous parallèles entre eux, et le plan qu'ils ren«contreraient recevrait une grande quantité de lumière; mais ce «n'est pas ici le cas qu'on se propose [a]. . . »

---

[a] Voir la table générale des matières de l'*Histoire de l'Académie des sciences*, t. VIII, p. 152, et les *Tables* de Rozier (1776), à l'article Lavoisier.

Il résulte de ce passage que Lavoisier avait incidemment indiqué la meilleure solution du problème des *phares catoptriques*, dix-sept ans avant l'époque où l'ingénieur Teulère, comme nous le rappellerons ci-après, en proposa l'application au phare de Cordouan.

8. Par suite de ce concours, l'emploi des réflecteurs concaves, à courbure sphérique, illuminés par un bec de lampe à mèche plate, fut exclusivement adopté pour l'éclairage des rues de Paris, et, de 1780 à 1782, des réverbères de même espèce, mais de plus fortes dimensions, remplacèrent les foyers de charbon de terre à la tour de Cordouan, ainsi qu'aux deux anciens phares des îles de Ré et d'Oléron.

9. L'appareil catoptrique de Cordouan fut composé de quatre-vingts réverbères en forme de coquilles échancrées, de 217 millimètres de diamètre, dont les lampes, à niveau constant, portaient chacune un bec à mèche plate de 18 millimètres de largeur. On observa d'ailleurs de les disposer, sur leur commune armature, en plusieurs couronnes étagées et orientées de telle manière que la lumière projetée se trouvât répartie aussi uniformément que possible sur l'horizon maritime du phare.

Cet appareil fonctionna pour la première fois le 12 novembre 1782.

Ainsi qu'il eût été facile de le reconnaître à l'avance par quelques essais photométriques, le système des petits miroirs concaves illuminés par des flammes fuligineuses se trouva d'un éclat notablement inférieur à celui de l'ancien foyer de houille en pleine incandescence. Les plaintes des navigateurs se renouvelèrent donc plus vives que jamais, et, après avoir essayé, sans beaucoup plus de succès, des réverbères à trois becs, on dut se livrer à la recherche de meilleures combinaisons.

10. Appelé à s'occuper de cet important problème, l'ingénieur

Teulère en fit l'objet d'une étude approfondie, dont les résultats sont exposés et discutés dans un mémoire inédit, adressé au ministère de la marine, sous la date du 26 juin 1783.

Après diverses considérations sur les moyens que fournit la catoptrique pour projeter la lumière en faisceaux visibles à grande distance, Teulère concluait en proposant, pour le phare de Cordouan, l'essai d'un nouvel appareil qui eût compris vingt-*quatre* réverbères paraboliques, disposés comme il suit :

1° Chacun de ces miroirs concaves aurait eu 5 pouces de foyer et 21 pouces d'ouverture [a].

2° La flamme focale, au lieu d'être *plane*, devait former un *cylindre* de 2 pouces de diamètre sur 3 lignes d'épaisseur, laissant *un tuyau* au milieu « pour la circulation de l'air. »

3° Les vingt-quatre réverbères auraient été distribués sur trois cercles superposés, et orientés de manière à répartir la lumière aussi uniformément que possible dans tous les azimuts.

4° Pour satisfaire plus complétement à cette dernière condition, on eût imprimé, au moyen d'un mécanisme d'horlogerie, *un mouvement de rotation uniforme et lent* [b] à l'axe vertical portant les réverbères.

Ce nouveau système, comparé à l'ancien, présentait un double progrès d'une importance capitale, par la substitution des miroirs paraboliques aux petits réflecteurs à courbure sphérique, et des lampes à double courant d'air aux lampes à mèche plate.

11. Nous ferons observer dès à présent, quant aux questions de

---

[a] D'après ces données, la profondeur du paraboloïde n'eût été que de 131 millimètres, en sorte que le foyer se serait trouvé de 18 millimètres en dehors du plan de l'ouverture, disposition motivée sans doute par l'absence de la cheminée de cristal, dont on n'avait pas encore imaginé de coiffer les becs de lampe.

[b] Il eût fallu, au contraire, pour effacer les *angles morts* répondant aux intervalles des réflecteurs, imprimer à l'appareil un mouvement très-rapide de rotation.

priorité, que l'on a souvent renouvelées au sujet de ces améliorations, et sur lesquelles nous aurons à relever quelques inexactitudes d'Augustin Fresnel :

1° Que la première idée de l'emploi des miroirs paraboliques, pour projeter en faisceau compacte les rayons émanés d'une lumière focale, n'appartient pas à Teulère, qui avait été devancé à cet égard par Lavoisier, ainsi que nous venons de le dire;

2° Que l'invention de la lampe à double courant d'air, antérieure d'une année au mémoire de Teulère, appartient incontestablement à Ami Argant, de Genève[a];

3° Que l'addition de la cheminée de cristal, si essentielle pour obvier à la fumée et augmenter l'éclat de la flamme par une combustion plus complète de l'huile volatilisée, avait été suggérée par l'académicien Meusnier : il avait, en effet, dès le mois de mars 1783, employé, pour chauffer un appareil distillatoire, des becs de lampe à double courant d'air surmontés d'un *tube de cuivre*[b], auquel, bientôt après, Lange et Quinquet substituèrent, pour l'éclairage, une cheminée de cristal;

4° Que l'idée émise accessoirement d'imprimer *un mouvement lent de rotation* au système des réverbères, afin d'obtenir, dans tous les azimuts, une portée à peu près égale de la lumière, ne saurait être considérée comme établissant un titre de priorité à l'invention

---

[a] Voir la brochure d'Argant intitulée *Découverte des lampes à double courant d'air et à cylindre*, Genève, 1785. — Argant, dans cet écrit, paraît vouloir s'attribuer l'idée de l'addition des *cheminées*, en les confondant avec le *tube* intérieur de ses becs cylindriques.

[b] Voir le mémoire de Meusnier «sur les moyens d'obtenir une entière combustion de «l'huile, et d'augmenter la lumière des lampes en évitant la formation de la suie, à laquelle «elles sont ordinairement sujettes.» (*Mémoires de l'Académie des sciences*, pour l'année 1784, p. 390.) — Nous ferons toutefois remarquer que, d'après les conclusions de Meusnier, on pourrait croire qu'il n'avait pas apprécié toute l'importance du perfectionnement qu'il a apporté à la construction des lampes d'Argant.

des appareils *à éclipses*, dont les effets, essentiellement différents, ont un tout autre objet.

12. A l'époque même où Teulère étudiait les moyens d'augmenter la portée du feu de Cordouan, Lemoyne, ancien administrateur de la marine, alors maire de Dieppe, s'occupait, de son côté, d'un problème non moins intéressant, celui de donner à la lumière des phares un caractère assez tranché pour que, au premier aspect, le navigateur pût la distinguer de tout feu accidentellement allumé sur la côte. Cette recherche le conduisit à une combinaison nouvelle, consistant à occulter périodiquement une lumière fixe au moyen d'écrans mobiles mis en jeu à l'aide d'un mécanisme d'horlogerie, et il soumit son invention au jugement de l'Académie des sciences.

Le mémoire de Lemoyne, renvoyé à une commission composée de Bory, Bezout, l'abbé Bossut, Leroy et Borda, fut l'objet d'un rapport favorable, dont l'Académie adopta les conclusions dans sa séance du 23 août 1783. Cependant, ainsi que nous l'apprend le rapport même, une autre combinaison atteignant plus heureusement le but proposé venait d'être appliquée, en Suède, au phare de Marstrand. Là, au lieu de recourir à l'emploi d'écrans, d'où résultait une perte notable d'effet utile, on obtenait des phases bien tranchées en faisant tourner le système des réverbères. Ils étaient au nombre de trois, disposés horizontalement, en triangle équilatéral, autour d'un axe vertical, en sorte que, par l'effet de leur mouvement uniforme de rotation, ils produisaient, dans tous les azimuts, une succession régulière d'*éclats* alternant avec des *éclipses*.

On a lieu de s'étonner qu'une commission aussi parfaitement compétente ait, sinon méconnu, du moins négligé de faire ressortir l'évidente supériorité théorique et pratique du système suédois sur celui de Lemoyne. L'étrange lacune que présente, à cet

égard, le rapport, semble ne pouvoir s'expliquer que par la nouveauté de questions dont l'importance n'avait pas encore été appréciée. Quoi qu'il en soit, on arrivait dès lors à la meilleure solution du problème des phares catoptriques. Elle consistait évidemment dans un *système tournant de réverbères paraboliques* illuminés chacun par un bec de lampe d'Argant, placé à son foyer.

PHARE DE CORDOUAN.

13. Cinq ans après, en 1788, le ministère de la marine, sur l'avis de Borda, fit à Lemoyne la commande d'un appareil de cette espèce, pour remplacer les réverbères fixes à courbure sphérique et à mèche plate du phare de Cordouan. Mais le nouveau fanal ne put être accepté, et l'habile opticien Lenoir fut chargé de construire, sous la direction de Borda, un appareil qui remplit plus complétement les conditions du programme.

Conformément aux dispositions arrêtées par l'illustre académicien, douze miroirs paraboliques, de 30 pouces (812^{mm}) d'ouverture et de 12 pouces (325^{mm}) de profondeur, furent exécutés pour être groupés autour d'un axe vertical tournant. La surface intérieure de ces paraboloïdes de cuivre fondu reçut un argentage à plusieurs feuilles, et l'on plaça au foyer un bec de lampe à double courant d'air, de 35 millimètres de diamètre, coiffé d'une cheminée de cristal. Le mouvement de rotation autour de l'axe vertical de l'armature était imprimé à ce système au moyen d'un mécanisme d'horlogerie.

L'essai de cet appareil catoptrique à éclipses eut lieu à Versailles, en 1790, aux applaudissements de la cour et du public, et Lenoir reçut de Louis XVI des encouragements mérités. Quant à l'invention même du système des phares à éclipses, dont l'honneur parut dès lors acquis à Borda, après avoir été attribué à Teu-

lère et à Lemoyne, nous croyons avoir suffisamment prouvé que la priorité appartient à la Suède.

14. L'amélioration du phare de Cordouan ne devait pas se borner au renouvellement de l'appareil d'éclairage. Il fallait encore, pour satisfaire aux justes et instantes réclamations du commerce de Bordeaux, exhausser la tour de manière à élever le foyer à soixante et quelques mètres au-dessus des plus hautes marées. Une décision ministérielle, prise en 1787, avait chargé de cette aventureuse entreprise l'ingénieur Teulère, qui s'en acquitta avec autant d'habileté que de hardiesse. Les travaux furent heureusement terminés en 1791, et la nouvelle lanterne reçut l'appareil catoptrique tournant, composé de douze grands réverbères paraboliques, uniformément distribués sur les quatre faces d'une armature rectangulaire. Le mouvement avait été réglé à huit minutes par révolution, en sorte que, dans tous les azimuts, apparaissaient de deux en deux minutes de puissants *éclats* alternant avec des *éclipses totales*.

Ce renouvellement du phare de Cordouan fait époque dans l'éclairage des côtes maritimes; après les détails dans lesquels nous venons d'entrer, on appréciera facilement l'importance d'une telle transformation. D'une part, en effet, les grands réverbères paraboliques à lampes d'Argant projetaient sur l'horizon des faisceaux de lumière d'une intensité très-supérieure à l'éclat des réverbères à mèche plate et des anciens feux de charbon; et, d'un autre côté, l'intermittence des éclats écartait toute possibilité de confusion avec d'autres feux. Ajoutons qu'à ces deux avantages si précieux se joignait celui d'un service moins pénible que l'entretien d'un foyer de houille, et conséquemment plus régulier.

15. Le nouveau système d'éclairage maritime fut bientôt importé en Angleterre par Argant, qui exécuta, en 1792, pour la corporation de Trinity-House, des réverbères paraboliques de

21 pouces anglais (533^{mm}) d'ouverture, en cuivre plaqué d'argent, qui furent montés sur une armature tournante, et installés, pour un premier essai, au phare des îles de Scilly.

16. Des appareils de même espèce furent ensuite employés pour les phares à feu fixe; mais il fallut alors multiplier les réverbères et orienter leurs axes de manière à distribuer la lumière le plus également possible sur la zone maritime à éclairer.

17. En 1791, époque du renouvellement du phare de Cordouan, il n'existait encore sur les côtes de France qu'un petit nombre de phares et de fanaux d'entrée de ports, parmi lesquels nous nous bornerons à mentionner :

1° Le fanal de *Dieppe*.

L'entrée de ce port avait été éclairée dès la fin du XIVe siècle. L'ancien fanal à feu fixe fut remplacé, en 1791, par un appareil à éclipses, exécuté sur les dessins de Lemoyne, qui le composa de cinq réverbères à coquilles de 32 centimètres de diamètre, illuminés chacun par un bec à mèche plate de 4 centimètres de largeur. Le système, mis en mouvement par une horloge, tournait avec une vitesse réglée à raison d'une révolution entière en trois minutes.

2° Le phare du *cap d'Ailly*, près et à l'ouest de Dieppe.

Établi en 1775, par la chambre de commerce de Rouen, en même temps que les phares de la *Hève* et de *Barfleur*. Il fut d'abord éclairé par un feu de houille, et reçut, en 1778, un appareil composé de seize réverbères à mèche plate fournis par Sangrain, entrepreneur de l'éclairage des rues de Paris.

3° Les deux phares du *cap de la Hève*, près du Havre.

Établis et renouvelés aux mêmes époques que le phare du cap d'Ailly.

4° Le phare de *Barfleur*, à l'entrée de la Manche, sur la pointe nord-est de la presqu'île du Cotentin.

Établi, comme les précédents, en 1775, et renouvelé en 1778.

5° Le phare du *cap Fréhel* (Côtes-du-Nord).

Établi en 1695. A son foyer de charbon furent substitués, en 1774, des réverbères de Sangrain.

6° Le phare de l'*île d'Ouessant* (Finistère).

Établi par Vauban, en 1695, et renouvelé, comme les précédents, vers 1778.

7° Le phare de *Saint-Matthieu*, à l'entrée de la rade de Brest.

Établi en 1740 et éclairé, jusqu'en 1771, par des lampes-veilleuses, qui furent alors remplacées par des réverbères à coquille et à mèche plate.

8° Le phare des *Baleines* (île de Ré)[a].

Établi en 1680. Il fut éclairé d'abord par des veilleuses, auxquelles on substitua, en 1773, un foyer de houille, qui fut lui-même remplacé, vers 1780, par des réverbères de Sangrain.

9° Le phare de *Chassiron* (île d'Oléron).

Établi et renouvelé aux mêmes époques et suivant le même système que le phare des Baleines.

10° Le phare, déjà mentionné, de *Cordouan*, à l'embouchure de la Gironde.

11° Les fanaux de *Port-Vendres*, de *Cette*, de *Bouc*, de l'*île Planier* (près de Marseille) et de la *Ciotat*.

Établis de 1771 à 1774 (?). Leur éclairage était si imparfait et leur portée si courte, qu'ils ne pouvaient guère compter que comme simples feux de port.

18. A la fin du siècle dernier, les côtes d'Angleterre présentaient un ensemble de phares et de feux de port sans doute plus complet et mieux coordonné que le nôtre, grâce à l'active solli-

---

[a] La reconstruction de la tour des Baleines a été pour A. Fresnel l'objet d'assez longues études dont nous publions quelques extraits.

tude de la corporation de Trinity-House[a] et aux ressources déj considérables dont elle disposait; mais, quant à leur *effet utile*, l plupart des phares britanniques laissaient beaucoup à désirer Un grand nombre, en effet, étaient encore éclairés à la manière antique, par un foyer de houille inégalement entretenu à l'air libre; quelques-uns n'étaient pourvus que de lampes fumeuses avec miroirs à facettes; d'autres n'avaient pour tout appareil que de simples chandelles. On citait parmi ces derniers le phare d'Eddystone, non assurément pour la portée de sa lumière, mais à raison des difficultés vaincues pour son établissement sur un rocher à peine accessible.

PHARE D'EDDYSTONE.

19. L'écueil d'Eddystone, situé à 10 milles au large du cap occidental de la baie de Plymouth, avait été signalé pour la première fois, le 14 novembre 1698, par un fanal installé sur une tour en charpente de 60 pieds de hauteur. Un coup de mer l'emporta dans la nuit du 26 novembre 1703, et avec le phare disparurent les gardiens allumeurs, l'architecte Winstanley et les ouvriers qui l'avaient accompagné pour travailler à l'exhaussement du foyer.

Cinq ans après cette catastrophe, une construction du même genre s'élevait sur le même écueil, aux frais et par les soins d'une compagnie à laquelle le gouvernement avait concédé les droits à percevoir pour ce phare pendant quatre-vingt-dix-neuf ans. Un incendie détruisit la nouvelle tour cinq ans après son érection, et la réédification du phare fut confiée au célèbre ingénieur Smeaton, à qui la plus ample latitude fut donnée pour le choix d'un

---

[a] Célèbre corporation maritime, instituée en 1515 par Henri VIII. Elle est chargée de l'administration des phares d'Angleterre, non compris l'Écosse et l'Irlande.

système de construction qui offrît toutes les garanties désirables de stabilité et de durée.

Après les plus mûres études, Smeaton éleva sur l'écueil d'Eddystone une tour revêtue en granit, à laquelle ses proportions et sa parfaite exécution semblent assurer une durée indéfinie.

Le phare d'Eddystone ne domine que de 20 mètres environ le niveau des plus hautes marées, et pendant de longues années son éclat fut bien loin de répondre à son importance nautique. Tant que dura la concession, c'est-à-dire jusqu'en 1807, vingt-quatre chandelles, sans autre appareil, composèrent le foyer de lumière destiné à guider, durant les nuits, les navigateurs aux approches d'un des premiers ports du monde! Singulière anomalie, qui fait ressortir de la manière la plus frappante le vice radical de pareilles concessions[a].

20. L'emploi des réverbères paraboliques à lampes d'Argant, si tardivement appliqué au phare de Plymouth, s'était cependant assez rapidement propagé en Angleterre, après l'heureux essai fait, en 1792, au phare des îles Scilly. Une requête présentée en 1793 au Parlement, en faveur d'Ami Argant, par une réunion de fabricants, d'armateurs et de négociants[b], nous apprend que,

---

[a] Plusieurs phares anglais ainsi concédés à diverses compagnies ont dû être rachetés à grands frais par la corporation de Trinity-House, à la suite des enquêtes parlementaires de 1822, 1834 et 1835.

[b] Ami Argant, après avoir attaché son nom à une création des plus fécondes, mourut à Paris, en 1803, dans un état voisin de l'indigence. En vain la pétition dont il s'agit avait-elle fait ressortir les avantages considérables que retirerait le pays de l'invention de la lampe à double courant d'air, non-seulement pour l'éclairage public et domestique, mais encore sous le rapport de l'impulsion qu'elle allait donner aux fabriques de ferblanterie, et surtout aux armements pour la pêche de la baleine, le Parlement resta sourd à cette requête, dont les prévisions ont été cependant si largement réalisées.

Le nouveau mode d'éclairage devait avoir pour la France des conséquences non moins heureuses, parmi lesquelles on peut citer l'amélioration des assolements, par suite de l'extension qu'allait prendre la culture du colza. Napoléon Ier, frappé des observations qu'eut

dès cette époque, des appareils catoptriques, garnis de lampes à double courant d'air, avaient remplacé les foyers de houille aux phares des *Casquets*, de *Portland*, des *îles Needles*, du *cap de Dungeness*, de *Foulness*, de *Hasborough*, de *North Foreland*, etc.

PHARE DE BELL-ROCK.

21. Nous mentionnerons enfin parmi les plus notables applications des réverbères paraboliques aux phares britanniques, antérieurement à l'invention du système lenticulaire, l'appareil catoptrique à éclipses du phare de Bell-Rock, qui signale l'écueil de ce nom sur la côte orientale d'Écosse, à 21 kilomètres au large de l'embouchure de la Tay.

Après plusieurs tentatives infructueuses de balisage, la commission des phares d'Écosse [a] décida, en 1802, qu'il serait élevé un phare sur ce rocher, que les pleines mers recouvrent sur 3 ou 4 mètres de hauteur. Cette entreprise, pleine de difficultés et de dangers, fut confiée aux talents éprouvés de M. Robert Stevenson père, et les travaux, commencés en 1807, furent heureusement achevés vers la fin de 1810.

Le phare de Bell-Rock, également remarquable par sa belle construction et par les soins intelligents apportés à tous les détails

occasion de lui faire à ce sujet un ami éclairé des arts et de l'industrie, le conseiller d'État P. F. Réal, lui témoigna vivement l'intention de faire décerner à la famille d'Argant une récompense nationale, qu'elle eût sans doute obtenue sans les événements qui amenèrent peu de temps après la chute de l'Empire. (*Anecdote extraite d'une note inédite du comte Réal.*) La traduction de la requête dont il est parlé plus haut est insérée dans le Bulletin de la Société d'encouragement pour l'Industrie nationale, année 1807, p. 25. (J. LISSAJOUS.)

[a] L'institution des *Commissioners of the northern Lighthouses*, qui a rendu d'inestimables services à la navigation des mers d'Écosse, ne date que de 1756. Le comité directeur fut originairement composé du sollicitor général de la couronne, du lord prévôt d'Édimbourg, du premier bailli de la même ville et des shérifs des trois comtés de Bute, d'Aberdeen et de Lanark. (Voir *Account of the Bell-Rock Lighthouse*, by R. Stevenson, Edinburgh, 1824, p. 6.)

de ses emménagements, offre, dans son ensemble, des dispositions analogues à celles du phare d'Eddystone. La tour a 100 pieds anglais (30^{m},48) de hauteur; elle est couronnée par une lanterne de bronze renfermant un système catoptrique tournant à quatre faces verticales disposées rectangulairement. Les éclats, qui se succèdent de deux en deux minutes, sont alternativement blancs et rouges. Le *feu blanc* est produit par un groupe de sept réverbères paraboliques de 635 millimètres d'ouverture. Trois réverbères semblables, garnis de glaces colorées, produisent le feu rouge. Cet appareil a d'ailleurs été exécuté avec une remarquable perfection; mais il résulte de l'inégalité de portée des éclats blancs et rouges, qu'au delà d'une certaine distance le phare de Bell-Rock doit changer de caractère.

22. Les développements et les améliorations incessamment apportés au service des phares britanniques par les corporations spécialement chargées de sa direction contrastaient, d'une manière fâcheuse pour la France, avec l'état de pauvreté relative où languissait l'éclairage de nos côtes maritimes. Entrés les premiers dans la voie du progrès par le perfectionnement des appareils d'éclairage, nous mettions la plus déplorable lenteur à en étendre les applications. Cette apparente incurie résultait sans doute, en partie, de nos embarras politiques et financiers, mais elle avait pour causes premières les difficultés administratives inhérentes à la nature mixte et tout exceptionnelle du service des phares : d'une part, en effet, leur programme, en ce qui touche le choix de l'emplacement, la portée et le caractère des feux, est essentiellement du ressort de l'administration maritime; d'un autre côté, la construction et l'entretien des édifices, disséminés sur une longue étendue de côtes où ce département ne possède qu'un petit nombre d'arsenaux et d'ateliers, appelait, dans la plupart des cas, le concours des ingénieurs des ponts et chaussées; en troisième lieu,

la solution des questions scientifiques relatives à la composition optique des appareils d'éclairage pouvait faire désirer l'intervention de la première classe de l'Institut. Or, bien que le concert pût s'établir assez facilement entre la marine et les ingénieurs civils, aucune vue d'ensemble n'avait jusqu'alors dirigé les mesures successivement adoptées pour signaler de nuit les atterrages de notre littoral, et, quant au système des appareils, il avait été rarement établi d'après une saine théorie appuyée d'expériences bien coordonnées.

23. Un décret du 7 mars 1806 avait cependant préparé la réorganisation du service des phares, en le plaçant spécialement dans les attributions du ministère de l'intérieur, qui devait d'ailleurs se concerter avec le ministère de la marine lorsqu'il s'agirait de nouveaux établissements.

24. En exécution de ce décret, la direction des ponts et chaussées fut appelée, au commencement de 1811, à examiner un mémoire dans lequel M. Le Coat de Saint-Haouen, capitaine de vaisseau, chef d'état-major de la marine impériale à Boulogne, exposait ses vues sur l'éclairage de nos côtes maritimes, et particulièrement sur les moyens d'obvier aux chances de confusion entre les phares.

INSTITUTION DE LA COMMISSION DES PHARES.

M. le comte Molé, alors directeur général des ponts et chaussées, saisit avec empressement l'occasion qui lui était offerte de donner un complément essentiel à la nouvelle organisation du service des phares. A cet effet, il provoqua une décision ministérielle pour la réunion d'une Commission mixte, à laquelle serait soumis le système de M. de Saint-Haouen. Elle devait être composée de trois officiers généraux ou supérieurs de la marine, de trois ins-

pecteurs des ponts et chaussées, et de trois membres de la première classe de l'Institut, à désigner par elle-même[a].

25. Nous n'avons pas à revenir sur le projet dont l'examen donna lieu à l'institution de la *Commission des phares*, et qui, après de longues et mûres délibérations, fut définitivement écarté. L'auteur, trop exclusivement préoccupé du danger de confusion, proposait des combinaisons très-variées de feux diversement colorés, dont le moindre inconvénient eût été un sacrifice considérable d'*éclat*, et conséquemment de *portée*. Quoi qu'il en soit, M. de Saint-Haouen n'en rendit pas moins un service signalé en traitant dans son ensemble la question de l'éclairage maritime, et en rappelant sur ce grave sujet l'attention de l'administration supérieure[b]. Il provoqua ainsi la création d'une Commission, instituée d'abord

---

[a] Voici la liste des membres de cette première *Commission des phares*, dont la composition s'écarta à quelques égards des termes du programme :

MM. Sané, inspecteur général des constructions navales, membre de l'Institut.......... De Moncabrié, capitaine de vaisseau.......... Jacob, *id*.......... Duperrey, *id*..........	désignés par le ministre de la marine.
Ferregeau, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur des travaux maritimes.......... Sganzin, inspecteur divisionnaire des ponts et chaussées.... Tarbé, *id*..........	désignés par le ministre de l'intérieur.
Malus, officier du génie, membre de l'Institut.......... Charles, physicien, membre de l'Institut..........	désignés par l'Institut.

Arago fut appelé à faire partie de la Commission des phares en 1813, après le décès de Malus.

[b] M. de Saint-Haouen avait préludé à la production de son système d'éclairage des côtes maritimes par un mémoire sur la *Télégraphie nocturne*, pour laquelle il proposait également l'emploi de *feux colorés*, ainsi qu'il résulte de l'extrait suivant du procès-verbal de la séance de la première classe de l'Institut du 21 brumaire an IX (12 novembre 1800) :

..... « Dans la discussion sur ce télégraphe (celui des citoyens Leblond et Véronèse), « un membre [LE PREMIER CONSUL] ayant témoigné le désir qu'on en fît un avec lequel on pût « correspondre dans la nuit et la brume, à cette occasion un des secrétaires lit une lettre du

comme temporaire, mais qui devint permanente par l'effet de la décision qui l'appelait à s'occuper, indépendamment de l'examen du projet présenté, «de la meilleure répartition et disposition à «faire des phares de France, sur l'universalité des côtes de l'Em-«pire, pour le plus grand avantage de la navigation.»

26. Cette importante décision fut prise le 29 avril 1811.

Les heureuses conséquences que devait avoir pour l'amélioration de notre éclairage maritime une mesure aussi opportune furent cependant bien lentes à se développer, et cela par diverses causes. Nous citerons comme les plus notables :

1° Les délais nécessaires pour recueillir et coordonner les nombreux documents hydrographiques et autres qui devaient servir de base au projet d'ensemble qu'il s'agissait d'élaborer;

2° La difficulté de maintenir au complet le personnel d'une Commission composée en majorité de marins, d'inspecteurs et de

«citoyen Le Coat de Saint-Haouen, sur l'utilité du télégraphe nocturne qu'il a proposé au «ministre de la marine. La lettre est renvoyée à la Commission déjà nommée.

«Un membre de cette Commission annonce que, d'après une première expérience faite «avec des lampes diversement colorées, il paraît constant :

«1° Que le *blanc* et le *rouge* ne se distinguent pas assez l'un de l'autre pour être employés «concurremment comme signes différents;

«2° Que le *bleu* et le *vert* se distinguent encore moins l'un de l'autre, mais que, consi-«dérés comme une seule et même couleur, ils se distinguent très-bien du *blanc* et du *rouge*, «qui sont beaucoup plus éclatants;

«3° Que, dans la nécessité de se borner à deux couleurs, il semble que le *rouge* était un «peu préférable, mais qu'on pouvait aussi leur substituer le *blanc* et le *vert*;

«4° Enfin que, si le ministre de la marine, qui a consulté la classe, trouvait utile qu'on «lui envoyât un rapport plus détaillé, il serait invité, avant tout, à vouloir bien ordonner la «construction d'un télégraphe suivant les idées du citoyen Le Coat de Saint-Haouen, afin «de mettre les commissaires à portée de faire des expériences décisives et propres à fixer le «jugement de la classe.»

Sur quoi nous ferons observer, quant à la confusion entre les feux *blancs* et *rouges*, ainsi qu'entre les feux *bleus* et *verts*, qu'elle devait tenir au défaut de blancheur des flammes, supposé que l'on n'eût pas opéré par un temps brumeux.

directeurs de travaux publics, que les exigences de leur service éloignaient fréquemment de Paris;

3° Les événements désastreux qui amenèrent la chute de l'Empire, et les étroites limites assignées au budget des phares sous la Restauration.

27. De 1811 à 1819, les travaux de la Commission des phares se réduisirent à améliorer ou renouveler quelques anciens établissements, à rechercher et coordonner les plans et mémoires ainsi que les documents hydrographiques à consulter pour l'étude demandée, enfin à soumettre à des expériences comparatives les diverses espèces d'appareils catoptriques applicables à l'éclairage des phares.

28. Cependant les plaintes des navigateurs sur l'insuffisance et l'imperfection de notre éclairage maritime étaient incessantes, et, dans un mémoire transmis, vers la fin d'avril 1819, par le ministère de la marine à celui de l'intérieur, on signalait nos principaux phares de la Manche comme très-inférieurs en portée aux phares de même ordre de la côte d'Angleterre.

Le successeur du comte Molé, M. Becquey, qui depuis 1817 avait été appelé à la direction générale des ponts et chaussées, fut vivement ému de ces allégations et réclamations malheureusement trop bien fondées. Il s'empressa donc de les recommander à la plus sérieuse attention de la Commission des phares, en l'invitant à examiner s'il ne conviendrait pas d'ouvrir un concours pour l'amélioration de nos appareils d'éclairage maritime, et, dans le cas de l'affirmative, à rédiger le programme des conditions à remplir.

29. Après mûres délibérations, l'idée du concours fut écartée, mais l'initiative prise par M. Becquey n'en eut pas moins des conséquences aussi fécondes qu'inattendues. Stimulée par la démarche de son digne président, la Commission accueillit et appuya la pro-

position d'un de ses membres, M. Arago, qui, dans la séance du 21 mai 1819, demanda que MM. Mathieu, astronome, membre de l'Institut, et Augustin Fresnel, ingénieur des ponts et chaussées, déjà connu par d'importants travaux sur la théorie de la lumière, lui fussent adjoints pour la nouvelle série d'expériences qu'il s'agissait d'entreprendre sur les appareils d'éclairage.

Cette proposition, qui allait ouvrir une carrière toute nouvelle à Fresnel, alors chargé du cadastre du pavé de Paris, fut sanctionnée par décision du 21 juin 1819[a].

30. Le programme des premières expériences à entreprendre ou à renouveler avait principalement pour objet :

1° Les grands réflecteurs exécutés par Lenoir pour le phare de Cordouan ;

2° Un réflecteur parabolique exécuté par l'artiste anglais Robison, fournisseur de Trinity-House ;

3° Les réflecteurs *à double effet* de Bordier-Marcet, successeur d'Argant, son beau-père ;

4° Les réflecteurs *sidéraux* du même fabricant.

31. Bien que l'étude comparative des effets de ces appareils et

---

[a] Voici la lettre du Directeur général des ponts et chaussées et des mines, en réponse à la demande de la Commission des phares :

« Paris, le 21 juin 1819.

« Messieurs, j'ai l'honneur de vous informer que, d'après le désir que vous exprimez dans un de vos rapports, j'ai décidé que M. Fresnel serait *temporairement* mis à votre disposition. J'annonce à cet ingénieur qu'il devra vous seconder dans vos travaux pendant les intervalles dont son service au pavé de Paris lui permettra de disposer.

« J'ai l'honneur d'être, » etc.

Signé « BECQUEY. »

Il est presque inutile de faire observer, à cette occasion, que M. Becquey, toujours très-bienveillant envers Fresnel, ne l'avait confiné dans le fastidieux service du cadastre du pavé de Paris que pour le mettre à portée de poursuivre, sans renoncer à son emploi d'ingénieur, ses recherches sur la théorie de la lumière.

des diverses combinaisons qu'ils comportent n'offre plus aujourd'hui qu'un médiocre intérêt, au point de vue spécial de l'éclairage maritime, comme ils ont longuement occupé la Commission des phares, et particulièrement Augustin Fresnel, qui en a fait le sujet de plusieurs *Notes* que nous avons reproduites, nous croyons devoir entrer, à cet égard, dans quelques explications, auxquelles il pourra nous suffire ultérieurement de renvoyer le lecteur.

La propriété dont jouissent les miroirs paraboliques ordinaires, de réfléchir parallèlement à leur axe les rayons émanés du centre focal, les rend beaucoup plus propres à être employés comme éléments d'un appareil *tournant*, pour projeter sur l'horizon une succession d'*éclats* alternant avec des *éclipses*, qu'à servir à la composition d'un appareil à *feu fixe*, qui devrait distribuer uniformément sa lumière dans tous les azimuts.

32. Il est de plus à observer que la divergence horizontale, qui est la première condition du programme des appareils à feu fixe, est nécessaire jusqu'à un certain degré dans les appareils tournants. Il ne suffit pas, en effet, que ces derniers projettent sur l'horizon des faisceaux lumineux d'un vif éclat; il faut encore que chaque apparition de lumière ait assez de durée pour que le navigateur puisse relever la direction dans laquelle il aperçoit le feu.

33. C'était sans doute pour satisfaire à cette dernière condition que le diamètre des lampes des grands réflecteurs du phare de Cordouan avait été porté à 35 millimètres; mais le courant d'air intérieur, dans de telles proportions, ne pouvait produire qu'une combustion trop incomplète de l'huile vaporisée, en sorte que les flammes demeuraient constamment rougeâtres et fumeuses.

Le diamètre de l'ouverture du grand réflecteur de Lenoir, qui fut mis en expérience, était de $837^{mm},5$, et sa profondeur, de 331 millimètres. Il avait été exécuté, comme nous l'avons dit, en cuivre fondu, puis réparé au tour et argenté à plusieurs feuilles.

Sa surface intérieure présentait d'ailleurs de nombreuses piqûres et des stries, et son mince argentage ne pouvait manquer d'être promptement altéré par les nettoiements journaliers.

Illuminé par un bec d'Argant ordinaire, il projetait dans l'axe un éclat équivalant à 600 fois la lumière focale, et ne présentait alors qu'une faible divergence.

34. Le réflecteur anglais, de cuivre fortement plaqué d'argent, avait été exécuté avec un soin remarquable, surtout sous le rapport de la perfection du poli. Le diamètre de son ouverture était de 512 millimètres, et sa profondeur, de 217 millimètres. Son éclat, mesuré dans l'axe, équivalait à 300 fois le bec de lampe d'Argant placé à son foyer[a]. Il est d'ailleurs à observer que les médiocres dimensions des réverbères de Robison permettaient de les disposer en deux ou trois zones horizontales, dans une lanterne de phare de premier ordre, pour former un appareil à *feu fixe*, ou de les grouper sur les châssis verticaux d'une armature tournante, pour composer un appareil à *éclats* alternant avec des *éclipses*.

35. En résumé, on pouvait considérer les réverbères paraboliques comme offrant des résultats satisfaisants pour les phares à éclipses; mais l'application de ces mêmes éléments à la composition des appareils à feu fixe laissait évidemment beaucoup à désirer sous le rapport de la distribution de la lumière projetée à l'horizon.

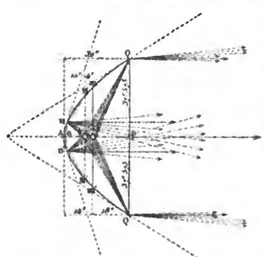
Ce dernier problème devint pour Bordier-Marcet l'objet de nombreux et dispendieux essais. Nous ne parlerons ici que des deux combinaisons précitées, le *réflecteur à double effet* et le *réverbère sidéral*, que la Commission des phares soumit à de nombreuses expériences avant et depuis l'adjonction de Fresnel.

---

[a] Nous ferons observer, à cette occasion, que les registres d'expériences d'Augustin Fresnel laissent quelques incertitudes sur les valeurs des divers becs de lampe successivement employés par lui comme unité photométrique.

36. Pour obtenir une forte divergence, tout en conservant au faisceau principal des rayons réfléchis une intensité suffisante, Bordier-Marcet avait imaginé d'ajuster sur l'ouverture circulaire d'un miroir parabolique ordinaire, et sur le même axe, une zone additionnelle, également parabolique, dont le foyer était placé un peu en avant du premier, dans le plan équatorial commun aux deux surfaces de révolution. Chaque foyer était d'ailleurs occupé par un bec de lampe, d'où il résultait que les rayons émanés d'un centre focal étaient réfléchis parallèlement à l'axe commun par l'une des surfaces, et avec divergence par l'autre.

Ces réflecteurs *à double effet*, dont nous reproduisons ici le profil, furent exécutés en cuivre plaqué d'argent. Le diamètre de leur ouverture était de $0^{m},7515$, et leur profondeur, de $0^{m},32$ à $0^{m},33$. Le diamètre des becs de lampe avait été réduit à $0^{m},018$.



Dans l'axe commun aux deux surfaces paraboliques, l'éclat équivalait à 450 becs ordinaires de Carcel.

37. Le premier emploi de ces appareils avait eu lieu, à titre d'essai, en 1811, à l'un des deux phares du cap de la Hève, près du Havre, et, quelques années après, l'autre phare fut illuminé de la même manière.

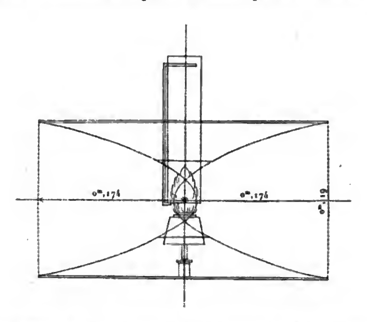
Des réflecteurs de même espèce remplacèrent successivement aux phares du cap Fréhel, de l'île d'Ouessant, de l'écueil du Four (à l'embouchure de la Loire) et de l'île de Ré, les anciens réverbères de Sangrain. Ce fut sans doute une très-notable amélioration, quant à la portée moyenne des feux; mais les dimensions

des réflecteurs à double effet ne permirent pas de les employer en nombre tel, que la lumière réfléchie pût être assez uniformément répartie sur l'horizon maritime.

38. Cependant Bordier-Marcet avait déjà résolu, mais sur une très-petite échelle, le problème de l'égale distribution de la lumière dans tous les azimuts. Les réflecteurs imaginés par lui pour satisfaire à cette condition étaient engendrés par la révolution d'une parabole tournant autour de l'ordonnée focale, en sorte qu'ils se trouvaient formés de deux nappes conoïdes superposées symétriquement.

Dans le cas le plus fréquent, où l'espace angulaire à éclairer n'embrassait pas toute la circonférence, le réservoir de la lampe à niveau constant était placé du côté opposé. On augmentait d'ailleurs l'effet utile en reliant latéralement les deux nappes du réverbère par deux demi-paraboloïdes ordinaires ayant même foyer et même génératrice.

La figure ci-dessous complète la description de ces réverbères,



appelés *sidéraux* par l'inventeur. Originairement destinés à l'éclai-

rage des villes, ils ont depuis été utilement employés pour signaler des entrées de port, particulièrement comme fanaux de marée.

39. Le succès mérité de ces ingénieux appareils encouragea l'inventeur à entreprendre l'exécution, dans le même système, d'un phare à feu fixe de premier ordre, c'est-à-dire d'un éclat assez puissant pour être aperçu, en temps ordinaire, jusqu'à la distance de 5 à 6 lieues marines.

Le diamètre des deux nappes paraboliques fut en conséquence porté à 1^{m},95.

Pour obtenir une flamme en rapport avec de telles dimensions, Bordier-Marcet groupa au foyer de son appareil 27 becs d'Argant, en se réservant de les remplacer ultérieurement par des becs à gaz.

Ainsi que l'on eût pu le reconnaître à l'avance par un simple calcul approximatif, l'*effet utile* se trouva loin de répondre à la dépense des 27 becs. Aussi, après divers essais, dut-on renoncer à tirer parti du grand appareil sidéral, qui fut définitivement écarté par la Commission des phares, en 1823.

II.

INVENTION DES PHARES LENTICULAIRES.

40. Nous venons d'exposer dans son ensemble et ses principaux détails l'ancien système de phares à l'amélioration duquel, ainsi que nous l'avons dit, Augustin Fresnel avait été appelé à concourir par une décision administrative du 21 juin 1819. Mais ce qui devait être l'objet principal de sa mission fut bientôt réduit par lui à une question tout à fait secondaire. A peine entré dans la voie nouvelle ouverte à son génie inventif, il fut frappé de cette idée, qu'on pourrait avec avantage « substituer de grandes

« lentilles de verre aux réflecteurs paraboliques » pour projeter la lumière en faisceaux d'une forte intensité[a].

Ce premier aperçu résultait de la double considération que, d'une part, l'image lumineuse réfléchie par le miroir plan le plus parfait offre à peine la moitié de l'éclat direct du corps éclairant, et que, d'un autre côté, la presque totalité du cône de rayons directs ayant pour sommet le bec de la lampe focale, et pour base l'ouverture circulaire d'un réverbère parabolique, est perdue à la mer pour l'*effet utile*.

41. En suivant cette conception, qu'il songea d'abord à appliquer aux phares à éclipses, Fresnel reconnut que le tambour dioptrique qui serait illuminé par une flamme centrale devait, pour ne pas laisser diverger en pure perte une trop grande partie des rayons émanés du foyer, embrasser une zone d'au moins 45 degrés. Or de cette première donnée résultait, pour l'angle prismatique du bord des lentilles, une ouverture de 40 degrés, et conséquemment une épaisseur au centre qui eût occasionné une grande perte de lumière, et rendu ce système mobile démesurément pesant.

42. Cette première difficulté du problème fut bientôt écartée par une combinaison que Fresnel tira de son propre fonds, mais pour laquelle il apprit bientôt qu'il avait été devancé par Buffon, celle des lentilles polyzonales à profil échelonné.

Sans reproduire ici les développements que présente à ce sujet le Mémoire publié en 1822 par notre auteur [t. III, N° VIII (A)], bornons-nous à rappeler qu'en multipliant suffisamment les zones concentriques des panneaux lenticulaires, et en exécutant ces anneaux séparément, on arriva à corriger, autant qu'il peut être nécessaire pour des appareils d'éclairage, l'aberration de sphéricité.

---

[a] Voir le Mémoire N° VIII (A).

Fresnel adopta pour ses panneaux lenticulaires la forme *plan-convexe*, comme pratiquement préférable à la forme *biconvexe*[a].

43. La distance focale étant donnée, le rayon de courbure du disque central pouvait être déterminé avec une suffisante approximation par une moyenne entre la valeur déduite de la formule ordinaire pour les lentilles plan-convexes de petit diamètre et la longueur du rayon de courbure répondant, pour le bord du disque, à la réfraction parallèlement à l'axe des rayons incidents émanés du centre focal.

Quant aux anneaux concentriques, les coordonnées du centre de l'arc générateur de leur surface extérieure se trouvaient déterminées par la condition que les deux éléments extrêmes de cet arc présentassent l'inclinaison voulue pour la réfraction parallèlement à l'axe commun.

44. Dès le mois d'août 1819, Fresnel soumettait à la Commission des phares l'épure d'une lentille polyzonale de 60 centimètres de longueur focale et de 536 millimètres de côté, comme première étude de son nouveau système d'éclairage maritime.

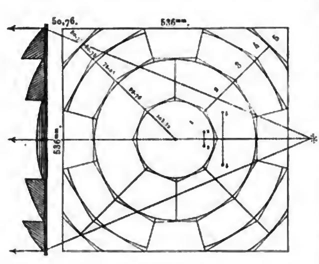
45. On conçoit que la *taille*, le *douci* et le *poli* des anneaux de verre profilés comme il vient d'être dit, devant s'opérer par des mouvements circulaires alternatifs, pouvaient s'exécuter au tour à l'aide de combinaisons mécaniques peu compliquées. Toutefois l'inventeur, à ses débuts, n'était pas en position de provoquer l'établissement de tours à roder le verre, qui eussent exigé pour moteur une machine à vapeur, ou tout au moins un manége à cheval. Il se trouvait donc forcé d'aborder l'exécution de ses grandes pièces optiques avec les seuls moyens communément appliqués à la taille des verres lenticulaires, c'est-à-dire le rodage

[a] Forme adoptée par Buffon pour les grands verres ardents, ainsi que par sir David Brewster pour ses *burning glasses*.

au bassin, et conséquemment de composer provisoirement les anneaux concentriques d'un assemblage polygonal d'éléments à courbure sphérique.

46. Quel que fût, au surplus, le mode d'exécution, il fallait, avant tout, se procurer la matière première moulée sur une épaisseur qui sortait des habitudes de nos manufactures de glaces. Or les premiers essais faits aux verreries de Choisy-le-Roi n'avaient été rien moins que satisfaisants. Ils donnaient lieu de craindre que l'on ne pût obtenir de longtemps, sous le volume désiré, des pièces de *crown-glass* à peu près exemptes de bulles et de stries. Mais la solution de cette grave difficulté put être ajournée, grâce à l'habileté de M. Soleil père à refouler au four les glaces ordinaires sans altérer leur transparence.

47. Cet habile artiste exécuta ainsi pour premier essai une lentille échelonnée de 35 centimètres de diamètre et de 40 centimètres de longueur focale, puis un panneau lenticulaire à *éléments polygonaux*, de 70 centimètres de foyer sur 55 de carré, qui fut terminé au commencement de 1820.



Nous présentons ici la réduction au dixième d'une ancienne épure cotée, qui, malgré quelques millimètres de différence sur la longueur focale, nous paraît avoir été tracée par Fresnel, comme première étude de ce même panneau lenticulaire [a].

[a] On y voit figurée en profil la *glace-support*, que Fresnel supprima bientôt. (V. N° I, § 10.)

48. Pour appliquer utilement les panneaux dioptriques à l'éclairage des phares, un autre problème restait à résoudre : celui de la production d'une lumière ayant les dimensions et la densité requises. Elle devait, en effet, tout en illuminant vivement le centre focal, présenter un volume tel, que la divergence verticale du faisceau émergent embrassât toute la largeur de la zone maritime à éclairer, et que la divergence horizontale eût assez d'amplitude pour donner à l'apparition des éclats de l'appareil tournant la durée nécessaire pour les relèvements nautiques.

L'étude de ce problème conduisit à reprendre l'idée de Rumford, ou plutôt de Guyton de Morveau, sur les becs à mèches concentriques[a]. Il fallait, de plus, recourir au mécanisme à pompes de Carcel pour élever l'huile d'un réservoir inférieur au foyer et arroser incessamment la couronne du bec avec une surabondance, faute de laquelle l'intensité de la chaleur eût promptement carbonisé les mèches et détérioré le bec.

C'est ainsi qu'Arago et Fresnel résolurent conjointement ce nouveau problème[b].

---

[a] A. Fresnel attribue au comte de Rumford la première idée des lampes *à mèches multiples;* mais la priorité de Guyton de Morveau, quant à l'invention des becs *à mèches concentriques*, paraît clairement établie par l'extrait suivant d'un mémoire publié par ce savant, en 1797, dans les *Annales de chimie* (1re série, t. XXIV, p. 311), *Sur les moyens de fournir presque sans frais le feu et l'eau pour les expériences chimiques :*

« J'avais fait construire, *il y a dix ans*, une lampe sur les principes du citoyen Argant, à « trois mèches concentriques, chacune ayant un courant d'air intérieur et extérieur. L'effet « surpassa ce que j'en avais attendu par l'intensité du feu; mais il est difficile de prévenir la « destruction des soudures faites autour des mèches; les cornues de verre étaient souvent « fondues à leur fond et déformées; on conçoit qu'elle consommait une quantité d'huile assez « considérable, et, comme elle ne pouvait servir en même temps à éclairer, elle n'avait, à vrai « dire, qu'un rapport bien éloigné avec l'objet qui m'occupe. »

On voit qu'il ne manqua au succès complet de ce premier essai d'un bec à mèches concentriques que l'alimentation surabondante des lampes de Carcel.

[b] Voir le tome XVI des *Annales de chimie et de physique*, cahier d'avril 1821, p. 377; le *Bulletin de la Société d'encouragement*, cahier de juin 1821, et le Mémoire d'Augustin Fresnel, N° VIII.

Des becs à *deux* et à *trois mèches concentriques*, exécutés sur les dessins de Fresnel, furent mis en expérience dès le mois d'octobre 1819. On les alimenta, dans les premiers essais, à l'aide d'un réservoir supérieur, dont la capacité et l'écoulement avaient été réglés de manière à arroser d'huile les mèches avec la surabondance nécessaire pendant un éclairage de quelques heures. Cet équipage provisoire fut ensuite remplacé par une grande lampe mécanique, que construisit l'habile horloger M. Wagner.

49. Le 12 mai 1820, la Commission des phares assista à l'essai d'illumination de la lentille *polygonale* de 70 centimètres de foyer, par un bec à quatre mèches concentriques, brûlant 700 à 750 grammes d'huile par heure, ce qui répond à la consommation de 20 becs ordinaires de Carcel. Mais, pour ramener la divergence à de justes limites, il convenait de réserver ce nouveau bec pour des lentilles d'une longueur focale décuple de son diamètre, c'est-à-dire de 90 à 92 centimètres. Quoi qu'il en soit, les résultats obtenus furent tels, qu'ils ne pouvaient laisser de doute à la Commission sur la supériorité du nouveau système.

50. Fresnel dut commencer, dès lors, à s'occuper du projet d'un appareil lenticulaire à éclipses pour remplacer les grands réflecteurs de Cordouan, dont l'argentage, trop promptement détérioré par les nettoiements journaliers, ne pouvait être convenablement entretenu, et dont la portée, en définitive, ne répondait plus aux exigences des navigateurs.

La partie principale du nouvel appareil devait être formée d'un tambour dioptrique tournant, composé de huit panneaux carrés de 92 centimètres de foyer, qui devaient avoir ainsi à très-peu près 76 centimètres de côté.

51. Une première grande lentille fut exécutée pour essai, d'après ces données, par M. Soleil père, vers la fin de 1820. Malgré la perte résultant, pour l'effet utile, de la forme anomale

des zones concentriques présentant un assemblage polygonal de segments à courbure sphérique, l'éclat dans l'axe de ce panneau dioptrique illuminé par un bec quadruple fut trouvé au moins équivalent à 2,000 becs ordinaires de Carcel, ou à 14,000 bougies.

Cet éclat, comparé à ceux du grand réflecteur de Lenoir et du réverbère à double effet de Bordier-Marcet, équivalait à trois fois et un quart le premier et à quatre fois le second. Il eût donc fallu, pour produire un effet égal à celui d'un tambour dioptrique composé de huit grandes lentilles *polygonales*, vingt-six réflecteurs de Lenoir, ou trente-deux réverbères à double effet, qui n'auraient pu être installés dans les plus grandes lanternes. On pouvait d'ailleurs évaluer à près de moitié l'accroissement d'effet utile qui devait résulter, pour les grandes lentilles, de l'exécution sous forme annulaire de leurs zones concentriques, amélioration qu'une commande d'une certaine importance devait faire obtenir.

52. D'après ces résultats et ces prévisions, qui ne permettaient plus d'hésitation, la Commission des phares proposa, et M. Becquey ordonna, par décision du 4 février 1821, l'exécution de huit grandes lentilles composées d'éléments *annulaires*, pour remplacer l'appareil catoptrique de la tour de Cordouan.

53. Le tambour dioptrique, disposé ainsi que nous venons de le dire, devait embrasser une zone équatoriale de 45 degrés, formant les $\frac{383}{1000}$ ou environ les $\frac{2}{5}$ de la surface de la sphère lumineuse ayant son centre au foyer de l'appareil. Or, déduction faite de la perte inévitable qui résulte tant de l'espace libre à réserver au-dessus de la cheminée que de l'occultation produite par le bec même de la lampe focale, il restait à tirer parti des rayons lumineux divergeant dans un espace angulaire d'environ 50 degrés au-dessus des grandes lentilles et de 20 à 25 degrés au-dessous.

54. Pour utiliser les rayons supérieurs, Fresnel adopta la com-

binaison décrite dans le Mémoire sur son nouveau système de phares (N° VIII). Elle consiste dans l'addition de huit lentilles de 50 centimètres de foyer, disposées en toit pyramidal tronqué, lesquelles portent chacune à leur bord supérieur un grand miroir plan, incliné de manière à projeter à l'horizon le faisceau des rayons réfractés. Les plans méridiens répondant aux axes des petites lentilles obliques étaient d'ailleurs écartés de 7 degrés et demi des méridiens des grandes lentilles correspondantes, du côté opposé au sens de la rotation. Par l'effet de cette combinaison, la durée des éclats fut portée à moitié environ de celle des éclipses.

Ce système optique, illuminé par une lampe centrale, devait présenter dans sa rotation, réglée à 8 minutes par chaque révolution, des *éclats* alternant avec des *éclipses totales* et se succédant de minute en minute. Chaque grand éclat était d'ailleurs immédiatement précédé d'une lumière plus faible, et, après un rapide décroissement, faisait place à l'éclipse.

55. Quant aux rayons passant au-dessous du tambour dioptrique, Fresnel s'était d'abord arrêté à l'idée de les faire diverger pour éclairer les abords de la tour. Mais il reconnut bientôt qu'il en tirerait un parti plus utile en les distribuant à peu près uniformément sur l'horizon, au moyen d'un tambour catoptrique fixe composé de sept zones horizontales de petits miroirs plans étagés verticalement comme les lames d'une persienne. A l'aide de cette addition, on obtenait un petit *feu fixe*, qui, sans changer le caractère du feu principal à éclats périodiques, devait faciliter les relèvements nautiques, en rendant le phare constamment visible, en temps ordinaire, jusqu'à la distance de 8 à 10 milles marins[a].

---

[a] Le *Post-scriptum* du Mémoire sur les phares (N° VIII [A], p. 125) publié par Fresnel en 1822 indique une autre disposition de miroirs plans que l'on aurait groupés au-dessous des lentilles pour en prolonger les éclats. Nous reviendrons sur cette combinaison, à laquelle

56. L'armature du système optique, la machine de rotation à pendule, ainsi que les lampes mécaniques, furent exécutées par M. Wagner.

La première lampe mécanique appliquée à l'illumination des grandes lentilles avait pour moteur un ressort; mais cette force graduellement décroissante fut bientôt remplacée par l'action constante d'un poids, dont la course s'opérerait dans le fût de la colonne de fonte servant de support à tout le système.

57. Le 20 juillet 1823, l'appareil dioptrique ainsi disposé remplaça, dans la lanterne de la tour de Cordouan, les douze grands réverbères de Borda et Lenoir, qui l'éclairaient depuis 1791.

La puissance du nouvel appareil se trouva tellement supérieure à celle de l'ancien, que, sur divers points du littoral de la Gironde, où les rayons projetés par le phare se trouvaient interceptés par les accidents du sol, la réverbération atmosphérique fut prise, à la première apparition, pour la lueur d'un incendie.

58. Les efforts persévérants de Fresnel se trouvèrent dignement couronnés par cette mémorable inauguration de son système de phares lenticulaires[a]. Elle eut pour théâtre le plus beau monument qui, depuis les Ptolémées, eût été consacré au salut des navigateurs, et pour la seconde fois la tour de Cordouan donna le

---

notre auteur songea depuis à appliquer les miroirs concaves. (Voir la lettre à M. R. Stevenson, du 26 avril 1825, N° XV.)

[a] Nous ne devons pas omettre de rappeler, à cette occasion, les services rendus par M. Tabouret, alors simple piqueur des ponts et chaussées. Attaché d'abord, sous les ordres de Fresnel, au cadastre du pavé de Paris, il concourut dès l'origine aux divers travaux relatifs à la création du nouveau système de phares. Après l'installation de l'appareil lenticulaire de Cordouan, à laquelle il avait activement coopéré, M. Tabouret passa près d'un an à la tour pour diriger et surveiller les gardiens allumeurs. Les nombreuses observations pratiques qu'il recueillit avec une remarquable intelligence, dans le cours de cette longue et pénible mission, ont été très-utilement consultées pour l'organisation du service des phares lenticulaires.

premier signal d'une heureuse révolution opérée par la science dans l'éclairage des côtes maritimes.

59. Les applaudissements qui avaient accueilli, en 1791, la substitution de l'appareil catoptrique de Borda aux anciens foyers de charbon et aux réverbères à flammes fuligineuses, se renouvelèrent non moins unanimes à l'apparition des puissants effets de lumière du système dioptrique d'Augustin Fresnel. Mais, ainsi qu'il arrive trop souvent en pareil cas, aux éloges donnés à la création nouvelle se mêlèrent des réclamations de priorité. Elles furent élevées par sir David Brewster, qui, dès le mois de juin 1823, les avait consignées dans le Journal philosophique d'Édimbourg[a], et qui les renouvela à diverses reprises, malgré les vives répliques d'Arago[b].

Nous croyons pouvoir, sans entrer dans de longs développements, faire apprécier, à cet égard, les prétentions de l'illustre Écossais.

60. Fresnel, en imaginant, pour ainsi dire d'un seul jet, les lentilles polyzonales, comme moyen d'augmenter la portée des phares, avait incontestablement la priorité quant à l'idée rationnellement conçue de cette application. Ce n'est pas sérieusement qu'on pourrait lui opposer l'emploi fait, en 1789, au phare de Portland, de réflecteurs paraboliques garnis à leur ouverture de lentilles de 22 pouces anglais de diamètre. Une telle combinaison ne pouvait que discréditer, comme il arriva effectivement, l'introduction d'éléments dioptriques dans les appareils d'éclairage[c].

61. Quant à la division des lentilles en *zones concentriques éche-*

---

[a] Voir *Edinb. Phil. Journ.* vol. III, p. 166.

[b] Voir *Annales de chimie et de physique*, 2e série, t. XXXVII, p. 392. et les *Œuvres complètes d'Arago*, t. VI, p. 33.

[c] Voir *A rudimentary treatise on the history, construction and illumination of Lighthouses*, by Mr Alan Stevenson, London, 1850.

lonnées, l'idée n'était pas nouvelle : Buffon l'avait émise le premier dans son *Histoire des minéraux;* mais, en s'assujettissant à faire refouler des disques de verre d'une seule pièce, il s'imposait des difficultés pratiquement insolubles, du moins pour une fabrication courante. C'est ce qu'avait très-bien reconnu Condorcet, ainsi que le témoigne le passage suivant de son éloge académique de Buffon :

« Bientôt après, il (Buffon) proposa l'idée d'une loupe à échelons, n'exigeant plus ces masses énormes de verre si difficiles à « fondre et à travailler, absorbant une moindre quantité de lu« mière, parce qu'elle peut n'avoir jamais qu'une petite épaisseur, « *offrant enfin l'avantage de corriger une grande partie de l'aberration* « *de sphéricité*. Cette loupe, proposée en 1748 par Buffon, n'a été « exécutée que par l'abbé Rochon, plus de trente ans après, et « avec assez de succès pour montrer qu'elle mérite la préférence « sur les lentilles ordinaires. *On pourrait même composer de plusieurs* « *pièces ces lentilles à échelons;* on y gagnerait plus de facilité dans « la construction, une grande diminution de dépense, l'avantage « de pouvoir leur donner plus d'étendue, et celui d'employer, sui« vant le besoin, un nombre de cercles plus ou moins grand, « et d'obtenir ainsi d'un même instrument différents degrés de « force[a]. »

Ce passage si remarquable était très-certainement ignoré de Fresnel lorsqu'il imagina son système de phares et qu'il le soumit, en 1822, au jugement de l'Académie des sciences. Il ne négligea pas, au surplus, en renouvelant l'idée d'exécuter séparément chacune des zones concentriques des lentilles à échelons, de profiter des facilités qu'offrait cette division, pour corriger autant que possible l'aberration de sphéricité.

---

[a] Voir *Mémoires de l'Académie des sciences*, année 1788, p. 54.

62. Il est enfin à observer que Buffon, dans ses études sur la construction des grandes lentilles, n'avait eu en vue que la concentration des rayons solaires, à l'effet d'obtenir de très-hautes températures. Tel était aussi l'unique objet que s'était proposé sir David Brewster, lorsqu'il publiait en 1811, dans l'encyclopédie écossaise, son article sur les *Burning instruments*.

63. La nécessité de corriger l'aberration de sphéricité n'avait pu échapper à ce savant, mais il n'opérait pas la correction directement. Il comptait, si nous l'avons bien compris, obtenir à cet égard une approximation suffisante par une convenable disposition des éléments mobiles de sa lentille. On ne s'explique pas d'ailleurs comment, dans l'article précité du mois de juin 1823, il témoignait son étonnement de ce que Fresnel se fût privé de ce moyen de correction *en reproduisant le profil originairement adopté par Buffon*.

Cette assertion est doublement inexacte.

D'une part, en effet, le profil *plan-convexe*, adopté dès le début par Fresnel, diffère essentiellement du profil symétrique auquel s'était arrêté Buffon.

En second lieu, Fresnel corrigeait l'aberration de sphéricité de la manière la plus directe et la plus précise que comportât le rodage au tour, en déterminant l'arc générateur de chaque surface annulaire par ses deux tangentes extrêmes, dont les directions étaient déduites de la condition que les rayons focaux aboutissant aux arêtes extérieures de chaque anneau de verre fussent réfractés, à leur sortie, parallèlement à l'axe optique du panneau lenticulaire.

64. Il nous paraît d'ailleurs superflu d'insister sur les avantages si évidents qu'offrent, au point de vue de l'exécution, les segments mixtilignes du profil générateur des lentilles plan-convexes de Fresnel sur les ménisques de sir David Brewster. Les

difficultés que présente le système biconvexe, sous le double rapport de l'exactitude de la taille et de la précision des assemblages, sont telles, que nous doutons qu'elles aient pu être heureusement surmontées, supposé qu'on ait tenté de les aborder.

65. Enfin, pour n'omettre aucun des faits de la cause, n'hésitons pas à reconnaître la priorité du savant écossais, en ce qui touche l'idée d'un système additionnel mixte de lentilles et de miroirs plans. Mais nous devons ajouter que Fresnel y renonça dans la suite, et qu'après y avoir substitué, avec un notable avantage, de simples zones de miroirs concaves, il parvint, dans les derniers temps de sa vie, à obtenir un effet utile très-supérieur à celui de ces deux combinaisons, à l'aide d'un ingénieux appareil accessoire *à réflexion totale*.

En résumé, A. Fresnel a été inventeur des *phares lenticulaires*, aux mêmes titres que Gutenberg, de l'imprimerie, Galilée, des télescopes, et Watt, des machines à vapeur. On a pu sans doute leur contester la priorité quant à certaines idées élémentaires; mais ils ont su les féconder par leur active et puissante intelligence, et accomplir ainsi l'œuvre d'une véritable création.

66. La supériorité théorique du nouveau système d'éclairage maritime fut bientôt appréciée des physiciens, et ses applications devinrent l'objet de sérieuses enquêtes pour la plupart des commissions administratives des phares étrangers. Nous citerons particulièrement la mission que vint remplir en France, au mois d'août 1824, M. Robert Stevenson, ingénieur des phares d'Écosse. Mis par M. Becquey en relations officielles avec Fresnel, il s'empressa de recueillir tous les détails relatifs à la construction ainsi qu'au service des appareils lenticulaires. Il alla ensuite visiter le phare de Cordouan, et fit, à son retour, l'acquisition de deux grandes lentilles polyzonales de 76 centimètres en carré, ainsi que d'une lampe mécanique de premier ordre, pour répéter en

Écosse les expériences photométriques auxquelles il avait assisté à Paris.

67. Jusqu'à l'époque du renouvellement du phare de Cordouan, les recherches de Fresnel sur les moyens d'améliorer l'éclairage des côtes maritimes avaient eu spécialement pour objet les phares *tournants*. Cette direction donnée à ses premiers travaux trouve en partie son explication dans le passage suivant du Mémoire qu'il présenta à l'Académie des sciences le 29 juillet 1822 (N° VIII [A], § 40) :

« On pourrait faire aussi en lentilles des phares à *feux fixes*, « supérieurs à ceux qui sont composés de réflecteurs paraboliques; « mais, comme les feux fixes, qui doivent éclairer simultanément « tout l'horizon, ne sauraient avoir une aussi grande portée que « les feux tournants, et que d'ailleurs ils peuvent être confondus « quelquefois avec des feux allumés sur la côte par accident ou « malveillance, la Commission des phares a pensé qu'il serait pré- « férable de n'employer que des feux tournants, si l'on parvient à « les diversifier suffisamment, » etc.

68. Cependant, lorsqu'après l'heureux succès obtenu à Cordouan la question du choix entre les deux systèmes d'appareils d'éclairage catoptriques et dioptriques eut été définitivement résolue en faveur du second, la Commission, poursuivant l'étude du projet général qui lui était demandé, dut s'occuper de nouveau des *caractères* à donner aux phares, comme moyen de prévenir autant que possible de fatales méprises.

Ce nouvel examen conduisit à reconnaître que les chances de confusion étaient plus à craindre entre les phares tournants d'apparences peu différentes, qu'entre un phare à feu fixe et des feux d'intensité plus ou moins variable qui seraient accidentellement allumés sur la côte. Or, comme on avait cru devoir renoncer d'une manière absolue à l'emploi des feux colorés, et que, d'un autre

côté, les combinaisons propres à établir des différences suffisamment caractéristiques entre les feux changeants sont extrêmement restreintes, on se trouva presque forcément ramené à recourir à l'emploi des feux fixes pour les faire alterner avec les feux à éclats.

69. La solution du problème des appareils dioptriques *à feu fixe* n'était d'ailleurs qu'un simple corollaire de l'invention des appareils *à éclats*. En effet, le même profil de verre, dont la révolution autour de l'axe optique engendrait la lentille polyzonale plan-convexe, devait produire, par sa révolution autour de l'ordonnée focale, un tambour cylindrique échelonné, ayant la propriété de réfracter parallèlement à son plan équatorial et de distribuer uniformément dans tous les azimuts les rayons incidents émanés du foyer central.

Ce second mode de génération était également applicable à la partie accessoire, composée d'un système mixte de lentilles et de miroirs, et c'est d'après ce programme que Fresnel fit exécuter, comme premier essai, un petit appareil lenticulaire à feu fixe, qu'il présenta à l'Académie des sciences le 3 mai 1824.

70. Cet appareil, que l'on conserve au dépôt central des phares, et dont notre planche IX donne la coupe verticale et le plan à l'échelle de $\frac{1}{10}$, présente les dispositions suivantes :

1° La partie principale est formée d'un tambour dioptrique de 50 centimètres de diamètre intérieur et de 30 centimètres de hauteur, divisé en cinq zones horizontales échelonnées extérieurement. Théoriquement, elles auraient dû être exécutées sous forme annulaire; mais, faute de tours à roder les anneaux de verre de cette dimension, il fallut substituer un polygone régulier au cercle, et le nombre des facettes fut porté à seize.

2° Les rayons émanés du foyer, et passant au-dessus du tambour dioptrique, sont recueillis et réfractés par deux zones lenticulaires formant une coupole à seize pans, dont chaque élément

est accompagné d'un petit miroir plan, qui reçoit le rayon réfracté et le réfléchit horizontalement.

3° Un système mixte de même espèce, réduit à un seul cours polygonal de lentilles et de miroirs, recueille et distribue sur l'horizon les rayons passant au-dessous du tambour central [a].

4° La lampe focale, portant un bec à deux mèches concentriques alimenté d'huile par un mécanisme à pompes, repose sur un plateau mobile que l'on manœuvre au moyen d'un cric.

71. L'appareil ainsi composé fut installé sur la tour de l'Heuguenar, à Dunkerque, à la fin de 1824, et illuminé à dater du 1er février 1825. Dans cette localité, l'horizon maritime n'embrasse qu'une partie de la circonférence; aussi observa-t-on de substituer aux lentilles, du côté de terre, un miroir à courbure sphérique de cuivre plaqué, pour renvoyer au foyer et à la surface de la mer les rayons divergeant dans un espace angulaire qu'il était inutile d'éclairer.

La portée du feu, d'après les observations consignées dans un procès-verbal des pilotes, s'étendait jusqu'à 5 lieues marines [b], bien que son intensité moyenne ne fût guère que de 40 becs ordinaires de lampe de Carcel.

72. En poursuivant ses études sur les appareils dioptriques à

---

[a] La partie accessoire de cet appareil aurait pu être formée de simples zones de miroirs plans à divisions plus multipliées; mais Fresnel aura jugé apparemment que l'inégalité dans la lumière projetée sur l'horizon par son fanal pouvait se trouver avantageusement compensée par un excédant de portée dans trente-deux directions équidistantes, en observant de faire correspondre verticalement les axes des lentilles additionnelles aux arêtes du tambour central. Cette disposition très-judicieuse, que n'indique pas le plan de la planche IX, paraît avoir été adoptée par l'inventeur en cours d'exécution, et se voit sur la figure 1 de la planche IX *bis*.

[b] Ceci ne doit s'entendre évidemment que des directions les mieux éclairées. Au surplus, sans prétendre garantir l'exactitude des relèvements des pilotes, nous ferons observer, à cette occasion, que la permanence des feux fixes leur donne, à égalité d'éclat, une portée plus considérable que celle des feux tournants, dont les courtes apparitions ne produisent sur l'œil qu'une impression fugitive.

feu fixe, Fresnel reconnut bientôt la possibilité de simplifier leur partie accessoire, tout en augmentant son effet utile. Il lui suffit pour cela de substituer aux cours mixtes de lentilles et de miroirs de simples zones horizontales de *miroirs concaves*. Elles devaient, d'ailleurs, être disposées et profilées de manière que tout rayon focal compris dans la partie de la sphère lumineuse embrassée par leur ensemble fût réfléchi horizontalement dans son plan méridien.

Pour satisfaire à cette condition, chaque zone réfléchissante aurait dû être engendrée (ainsi que les doubles nappes des réverbères sidéraux de Bordier-Marcet) par la révolution d'une parabole tournant autour de son paramètre. Mais, à part les difficultés pratiquement insolubles du rodage des verres sous forme parabolique, les moyens très-bornés dont on pouvait alors disposer ne permettaient pas de songer à l'établissement de tours pour la taille de zones catoptriques annulaires, dont le diamètre devait atteindre jusqu'à $2^{m},20$ dans les appareils de premier ordre. Il fallut donc encore une fois substituer les polygones aux cercles, sauf à resserrer assez les dimensions des miroirs pour que l'arc du cercle osculateur, dans leur milieu, à la génératrice théorique, pût la remplacer sans qu'il en résultât de notables aberrations.

73. Après avoir heureusement surmonté les nombreuses difficultés d'exécution de ce système optique, Fresnel dressa, d'après les bases suivantes, le projet d'un appareil lenticulaire de *premier ordre à feu fixe*, destiné au renouvellement du phare de Chassiron :

1° Le tambour dioptrique, de 92 centimètres de rayon focal, formait un prisme droit régulier de 1 mètre de hauteur, ayant trente-deux faces à échelons, composées chacune de dix-sept éléments cylindriques de *crown-glass*.

2° La même division en trente-deux éléments égaux s'appliquait aux onze zones de miroirs concaves, tant supérieures qu'inférieures au tambour dioptrique.

3° Les sept zones supérieures étaient étagées de manière à former une coupole de 1 mètre de flèche, au sommet de laquelle était ménagée une ouverture pour le passage du courant de vapeurs sortant de la cheminée de la lampe focale.

4° Les quatre zones inférieures étaient disposées en prisme droit de 65 centimètres de hauteur.

5° Afin de corriger autant que possible les inégalités résultant, pour la distribution de la lumière sur l'horizon, de la forme polygonale du système optique, les zones catoptriques devaient être montées de manière à faire correspondre verticalement les milieux des miroirs aux arêtes du tambour dioptrique.

6° Chaque miroir élémentaire se rattachait aux tringles circulaires de l'armature par trois vis de calage, à l'aide desquelles il était facile de régler sa position de telle manière que son milieu réfléchit l'image de l'horizon à l'œil de l'observateur visant du centre focal du système.

7° La lampe mécanique, garnie d'un bec à quatre mèches concentriques, devait être installée comme celle de l'appareil tournant de Cordouan.

74. La planche X, sur laquelle nous avons figuré, d'après le programme adopté par Fresnel, l'appareil lenticulaire de premier ordre à feu fixe, dont l'exécution, commencée sous sa direction, ne put être achevée qu'après sa mort, complète ces indications sommaires, que développe d'ailleurs une note de la page 219.

Illuminé par sa lampe à quatre mèches, ce système optique projetait sur l'horizon un éclat moyen d'environ 400 becs ordinaires de Carcel, savoir :

Le tambour lenticulaire *polygonal*...	260 becs.
Les onze zones de miroirs concaves...	140
	400 becs.

75. Le même système fixe de zones horizontales de miroirs concaves en glaces étamées pouvait très-bien former la partie accessoire des phares lenticulaires *à éclats*, et eût rendu leur relèvement nautique plus facile, du moins jusqu'aux limites de la portée du feu fixe. Le caractère distinctif des phares périodiques n'eût pas, d'ailleurs, été essentiellement modifié par la permanence d'une lumière à peine équivalente au vingtième de l'éclat dans l'axe d'une grande lentille annulaire de 76 centimètres en carré. Toutefois, comme plusieurs marins éminents, surtout en Angleterre, insistaient pour le maintien du caractère le plus tranché, c'est-à-dire des *éclipses totales* à toute distance, Fresnel s'arrêta finalement à l'idée de disposer ses miroirs concaves de manière à réfléchir la lumière en faisceaux qui augmenteraient la durée des éclats des appareils tournants.

76. Cette nouvelle combinaison se trouve indiquée dans le passage suivant d'une lettre adressée par lui à M. Robert Stevenson, sous la date du 26 avril 1825 [a] :

« . . . Il m'est venu dernièrement à l'idée d'appliquer aux feux « tournants, pour remplacer les lentilles additionnelles, des glaces « légèrement courbes, semblables à celles que je fais exécuter main- « tenant par M. Soleil pour les phares à feux fixes; je suis sûr « d'obtenir ainsi, pour la première partie de l'éclat, *un cône lumi-* « *neux* à la fois plus brillant et plus étendu, et je suis persuadé « que ces miroirs cylindriques, substitués aux lentilles addition- « nelles et à leurs glaces, apporteront une augmentation notable « dans l'effet des éclats, dont la première partie sera à la fois *plus* « *longue et plus nourrie*. Alors on aura tiré de la lumière centrale « tout le parti possible, et je n'entrevois pas qu'il reste après cela

---

[a] Voir le N° XV.

« de perfectionnement important à faire dans l'appareil d'éclai-
« rage . . . . . »

Ce passage, d'autant plus remarquable qu'il est le seul, à notre connaissance, où Fresnel ait consigné ses dernières vues à ce sujet, présente en quelques mots un programme assez précis pour être facilement développé. En effet, puisqu'il s'agissait de grouper les miroirs cylindriques de manière à en obtenir des *cônes de rayons réfléchis* prolongeant la durée des phases lumineuses des grandes lentilles tournantes, les panneaux du nouvel appareil additionnel devaient, théoriquement, se composer de zones concentriques engendrées par la révolution autour de l'axe optique d'une section méridienne des zones étagées que nous venons de décrire. En d'autres termes, Fresnel entendait passer, du système des rayons divergeant uniformément sur l'horizon, à celui des rayons condensés en faisceaux, par le mode de génération qu'il appliqua l'année suivante à la partie accessoire de ses petits fanaux *catadioptriques*.

77. De l'adoption de ce programme pour un appareil tournant à huit grandes lentilles devaient résulter, comme conséquences immédiates, ces deux dispositions principales :

1° Le tambour dioptrique eût été surmonté d'une coupole catoptrique à huit fuseaux, ayant leurs plans méridiens établis en avant des axes des lentilles correspondantes, du côté opposé au mouvement de rotation, et à une distance angulaire à peu près égale à la demi-somme des divergences des deux faisceaux réfléchi et réfracté, de telle sorte que l'apparition du petit éclat précédât immédiatement celle de l'éclat principal.

2° Au-dessous du même tambour, le système accessoire eût formé un prisme droit à huit pans égaux, dont on aurait fait coïncider les plans méridiens avec ceux des fuseaux correspondants de la coupole.

78. La planche VIII présente l'expression graphique de cette combinaison, abstraction faite de l'ajustement polygonal des miroirs composant les zones concentriques, ainsi que de l'armature qui les eût rattachées au système tournant des lentilles.

79. En admettant qu'il y ait effectivement lieu de préférer les phares *à éclipses totales* à ceux qui présentent un *feu fixe dans l'intervalle des éclats*, la nouvelle combinaison indiquée par Fresnel à M. Robert Stevenson devait sans doute être considérée comme la meilleure solution du problème des appareils *à feu changeant* que comportassent les éléments optiques créés jusqu'alors.

80. La question des divers caractères à donner aux phares restait toujours une des plus embarrassantes pour le projet d'ensemble dont s'occupait la Commission. Après avoir mûrement discuté les combinaisons très-variées d'appareils tournants proposées par Fresnel dès 1820 [a], elle n'avait d'abord admis, comme offrant un caractère suffisamment tranché quant à la durée des phases, que la différence du simple au double. Ainsi, en écartant le moyen de distinction, jugé trop dispendieux, qu'offrait la duplication des feux exceptionnellement maintenue sur le seul atterrage de la Hève [b], on ne pouvait faire alterner que ces trois espèces de feux :

Feu fixe;

Feu à éclipses se succédant de minute en minute;

Feu à éclipses se succédant de 30 en 30 secondes.

81. Cependant de nouvelles études sur cette importante question conduisirent Fresnel à créer un quatrième caractère par une combinaison aussi simple qu'ingénieuse : elle consistait à varier un *feu fixe* par des éclats apparaissant de 3 en 3 ou de 4

---

[a] Voir le N° V.

[b] Les Anglais ont groupé jusqu'à trois phares sur l'écueil des *Casquets*, dans la Manche.

en 4 minutes, au moyen de deux ou trois panneaux dioptriques tournants, composés d'éléments cylindriques verticaux. Par cette disposition, les rayons, divergeant uniformément en nappe horizontale au sortir de l'appareil à feu fixe, se trouvaient réfractés et réunis en faisceau lorsqu'ils venaient à être rencontrés par l'un des écrans lenticulaires mobiles. On conçoit, d'ailleurs, que chaque apparition d'*éclat* devait être précédée et suivie d'une *éclipse* d'autant plus courte que la lentille cylindrique tournante était plus étroite [a].

82. La planche IX *bis* donne deux types de ce système. La première figure reproduit l'étude faite par Fresnel pour varier par deux lentilles cylindriques le feu d'un petit appareil de troisième ordre semblable à celui de Dunkerque, et la seconde présente l'esquisse d'un appareil de 1 mètre de diamètre, dont le feu est varié par trois lentilles tournantes.

83. La Commission des phares, après avoir soumis cette combinaison à divers essais, dans le cours du mois de mai 1825, l'adopta définitivement sous la double désignation de *feu à courtes éclipses* et de *feu varié par des éclats*.

84. La puissance des appareils lenticulaires et la portée qui devait en résulter n'étaient pas moins essentielles à considérer que leur caractère, pour le projet général d'éclairage des côtes de France. Ils furent classés en *quatre ordres*, conformément au tableau suivant, où sont indiqués, pour chacun, la distance focale.

---

[a] Les mêmes apparences pouvaient être obtenues en intercalant deux ou trois lentilles à éléments annulaires concentriques dans un tambour dioptrique à éléments annulaires horizontaux, et en faisant tourner ce système autour d'une lampe focale. Il est présumable que Fresnel aura préféré cette combinaison, en considération de la plus grande légèreté du système mobile, ainsi que du plus de facilité pour le service et d'économie dans les dépenses quand ce feu n'éclaire qu'une partie de l'horizon.

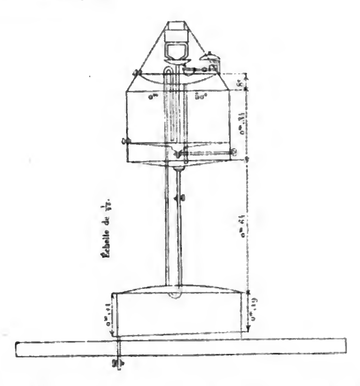
le nombre des mèches de la lampe, le diamètre du bec et la consommation d'huile par heure.

ORDRE DES APPAREILS.	DISTANCE FOCALE.	NOMBRE des MÈCHES.	DIAMÈTRE DU BEC de lampe.	CONSOMMATION D'HUILE par heure.	OBSERVATIONS.
1er ordre	0m 92	4	90mm	750gr	On n'indique pas ici la *portée*, qui varie, pour le même ordre, avec la disposition des pièces optiques.
2e ordre	0 70	3	75	500	
3e ordre, grand modèle	0 50	2	45	175	
3e ordre, petit modèle	0 25				
4e ordre ou fanaux de ports *	0 15	1	30	60	* Les études commencées en 1825 par Fresnel, pour les appareils lenticulaires de 4e ordre, ne furent terminées que vers la fin de 1826.

85. L'adoption définitive du système des phares lenticulaires et sa prochaine application sur une grande échelle donnaient une importance toute nouvelle aux détails pratiques desquels dépendent essentiellement la régularité et la sûreté du service de l'éclairage. Sous ce double rapport, le mécanisme des lampes à mèches multiples avait dû surtout fixer l'attention de Fresnel, et les chances de perturbation dans le jeu de leurs pompes l'avaient fortement préoccupé dès le début. Aussi avait-il tenté de substituer au système mécanique de Carcel la combinaison purement hydraulique des frères Girard. C'est dans ce but qu'il avait fait exécuter, pour un phare de premier ordre, une grande lampe hydrostatique qui satisfaisait à la condition d'alimenter le bec quadruple avec sûrabondance.

86. Cet équipage, que l'on conserve au dépôt central des phares, et dont nous donnons ici la figure à l'échelle de $\frac{1}{10}$, fonctionnait assez régulièrement pour être employé avec succès aux expériences photométriques. Mais il fut trouvé, en définitive, d'un

service trop embarrassant pour être avantageusement substitué aux lampes mécaniques.



87. Le gaz éclairant offrait le moyen le plus simple en apparence pour illuminer les grands appareils lenticulaires et obtenir aisément, sous un volume aussi fort qu'on pouvait le désirer, des flammes qui se maintinssent à une hauteur constante pendant la durée des plus longues nuits, sans exiger une incessante surveillance.

Ces avantages avaient été signalés par Fresnel dans le Mémoire qu'il présenta à l'Académie des sciences, en 1822, sur son nouveau système de phares [a].

Il reprit cette question en 1824 et 1825, et fit plusieurs essais pour remplacer les becs à quatre mèches par des becs à gaz à

---

[a] Voir N° VIII (A), § 33.

cinq et à six couronnes concentriques, qui sont figurés sur la planche XIV à l'échelle de $\frac{1}{4}$.

88. Alimenté par le gaz de houille, le bec de 12 centimètres de diamètre, à cinq couronnes, consommant 12 à 15 hectolitres par heure, ne donnait pas, lorsqu'il était placé au foyer d'une lentille de premier ordre, un effet équivalent à celui d'un bec à quatre mèches concentriques, brûlant dans le même temps 750 grammes d'huile au plus.

Avec le gaz d'huile, le même bec à cinq couronnes devenait notablement supérieur au bec à quatre mèches; mais alors la dépense se trouvait presque doublée, par suite de la décomposition d'une partie de l'huile distillée. Cependant ce surcroît de dépense aurait pu être accepté, si l'on n'eût pas été retenu par des considérations tout autrement graves. On crut, en effet, qu'il y aurait témérité à courir les chances de perturbation attachées à l'emploi d'un appareil distillatoire, et les résultats peu satisfaisants de l'éclairage au gaz organisé en 1818 par Aldini, au phare de Savoie, près de Capo d'Istria, justifiaient assez cette prudente réserve.

89. En définitive, l'emploi des lampes mécaniques fut maintenu, et l'on se trouva pleinement rassuré contre toute chance d'interruption de quelque durée dans l'éclairage, tant par les deux lampes de rechange mises à la disposition des gardiens que par l'addition d'un réveil à carillon [a], qui les avertit aussitôt que le bec de la lampe de service cesse d'être alimenté d'huile avec la surabondance nécessaire [b].

90. Les machines de rotation devinrent aussi pour Fresnel l'objet d'une étude qui les a essentiellement améliorées. On avait, dès l'origine de l'invention des phares à éclipses, employé, pour

---

[a] Voir N° VIII (A), § 37.

[b] Ce qui se trouve aujourd'hui mis hors de question par quarante années d'expérience.

leur imprimer un mouvement régulier de rotation, des horloges à pendule oscillant, et c'est dans ce même système que fut exécutée, par M. Wagner, la machine du nouvel appareil installé en 1823 sur la tour de Cordouan. Mais la parfaite exécution des rouages n'avait pu prévenir les chocs et les temps d'arrêt résultant des oscillations d'un lourd balancier, et ces inconvénients s'aggravèrent singulièrement lorsque les galets du chariot circulaire de l'armature commencèrent à sillonner leur voie. Fresnel chercha donc une meilleure solution pratique dans le pendule circulaire, en s'attachant à le disposer de manière à rendre ses révolutions à très-peu près isochrones.

91. Cette nouvelle étude eut pour résultat l'invention du volant-pendule, qui est représenté sur la planche VI à l'échelle de $\frac{1}{4}$ et dont la description détaillée est donnée ci-après, p. 195.

Bien qu'un brouillon trouvé dans les papiers de Fresnel prouve qu'il s'était occupé de ce problème dès le mois d'avril 1822, ses premières expériences sur son volant-pendule ne datent que du mois de juin 1824. Elles furent répétées avec un plein succès devant la Commission des phares, le 23 mars 1825, et les nouvelles machines de rotation à mouvement continu réglé par ce modérateur fonctionnèrent sans secousses avec toute la régularité et la précision désirables.

III.

INVENTION DES FANAUX CATADIOPTRIQUES.

92. Après cette série d'inventions et de perfectionnements, une dernière étude restait à faire pour remplir, dans le nouveau système d'éclairage, une lacune qui avait paru d'abord de peu d'importance : nous voulons parler des fanaux de quatrième ordre, qui ne figurent que pour mémoire dans le tableau récapitulatif joint

au projet d'éclairage des côtes de France arrêté en 1825. Suivant ce projet, ces petits appareils devaient présenter intérieurement un diamètre de 30 centimètres et être illuminés par un simple bec d'Argant. La partie principale, c'est-à-dire le tambour dioptrique, devait avoir pour générateur un profil échelonné, et l'on présumait que ses zones de verre, en raison de leurs faibles dimensions, pourraient assez facilement être travaillées au tour sous forme annulaire. La seule question encore indécise et véritablement épineuse était celle des dispositions à adopter pour la partie accessoire qui utiliserait les rayons de lumière passant au-dessus et au-dessous du tambour central. Cette étude, au surplus, ne paraissait pas très-urgente, attendu que les réflecteurs paraboliques ordinaires et les réverbères sidéraux de Bordier-Marcet pouvaient être, au moins provisoirement, employés à l'éclairage des entrées de port, qu'il suffisait, dans la plupart des cas, de signaler jusqu'à une distance de 5 à 6 milles marins.

93. Cependant, vers la fin de 1825, l'attention de Fresnel fut indirectement rappelée sur cette question par le comte Chabrol de Volvic, alors préfet de la Seine. Cet habile administrateur, à qui la capitale a dû de nombreuses et importantes améliorations, préoccupé de la difficulté d'éclairer économiquement les larges quais du canal Saint-Martin, et présumant qu'une heureuse solution pourrait être obtenue au moyen de fanaux lenticulaires, engagea Fresnel à s'occuper de ce problème.

94. Le programme ainsi posé péchait évidemment par sa base, car on ne saurait obtenir d'un petit nombre de foyers puissants un bon éclairage de voie publique. Mieux vaut, en pareil cas, n'employer que des lumières de médiocre intensité, sauf à les multiplier, ainsi qu'on le pratique généralement aujourd'hui pour l'éclairage au gaz. Quoi qu'il en soit, Fresnel, cédant peut-être au désir tout naturel d'étendre les applications de son système et d'en

hâter ainsi le perfectionnement, accepta le programme tel qu'il lui était donné. Il supposa donc que les fanaux destinés à éclairer des quais de 40 mètres de largeur seraient placés sur deux lignes parallèles, à 39 mètres des deux rives du canal, et que leur espacement sur chaque ligne serait porté à 60 ou 70 mètres. Il fallait conséquemment que la partie antérieure de chaque appareil distribuât sa lumière uniformément dans tous les azimuts d'une demi-circonférence, et que les rayons latéraux fussent projetés longitudinalement en deux faisceaux divergents.

95. Dans ces conditions, il pouvait suffire de donner 20 à 25 centimètres de diamètre intérieur au tambour dioptrique des fanaux. Quant à la partie accessoire, qui demandait seule une nouvelle étude, il semblerait, d'après un croquis de Fresnel, qu'il aurait d'abord songé à la composer, comme au phare de Dunkerque, d'un système mixte de lentilles et de glaces étamées. Mais la considération de la fragilité des pièces et de leur prompte altération dans un service de ville devait faire renoncer à reproduire sous d'aussi petites dimensions une pareille combinaison. Fresnel fut ainsi amené à prendre un parti inverse de celui auquel il s'était arrêté en dernier lieu pour les pièces accessoires de ses appareils lenticulaires. Au lieu de supprimer les zones dioptriques, il s'attacha à l'idée beaucoup plus heureuse de supprimer les miroirs et de disposer les premières de manière à en obtenir des effets de *réflexion totale*. Il détermina donc son profil générateur d'après la condition que les rayons incidents réfractés une première fois, à la rencontre d'anneaux de verre à section triangulaire, fussent réfléchis intérieurement, puis réfractés, à leur sortie, suivant la direction voulue pour le meilleur éclairage de la voie.

96. Le premier projet dressé suivant ces nouvelles combinaisons présente, dans sa partie principale et dans sa partie accessoire, les dispositions suivantes :

La *partie principale* est formée :

1° D'un *demi-tambour dioptrique*, engendré (comme nous l'avons expliqué pour les appareils de phares à feu fixe) par la révolution, autour de l'ordonnée focale, d'un profil lenticulaire échelonné;

2° De *deux joues* demi-circulaires, résultant de la révolution du même profil autour de son axe optique, et se raccordant tangentiellement avec les deux extrémités du demi-tambour.

La *partie accessoire* se compose :

D'une *demi-coupole d'anneaux* à réflexion totale ou *catadioptriques*, échelonnés au-dessus du demi-tambour dioptrique, et de *deux joues catadioptriques*, engendrées par la révolution, autour de leur axe optique, des deux sections latérales de la demi-coupole.

97. A l'égard des dispositions secondaires motivées par les conditions particulières du programme, nous ferons remarquer :

1° Que les deux zones inférieures du demi-tambour dioptrique ont été supprimées pour laisser arriver sur le sol une certaine quantité de rayons plongeants;

2° Que les éléments catadioptriques des joues ont été un peu déviés de la position normale, à l'effet d'accroître la divergence dans le sens longitudinal, déviation qui a nécessité la suppression de l'élément inférieur;

3° Qu'enfin un réflecteur à courbure sphérique a été indiqué au fond de l'appareil pour recueillir et utiliser les rayons divergeant de ce côté.

La planche XII reproduit l'épure autographe de Fresnel présentant en grandeur d'exécution la projection latérale de l'appareil que nous venons de décrire.

98. A l'époque où cette dernière invention venait si heureusement compléter le système d'éclairage de Fresnel, sa santé se trouvait déjà profondément altérée, et c'est à peine s'il pouvait

suffire aux exigences du service des phares, dont la direction lui avait été confiée depuis 1824. Cette situation, qui s'aggravait de jour en jour, explique assez comment, négligeant de prendre date par la publication d'une note descriptive de ses nouveaux appareils, il s'occupa avant tout de pourvoir à leur exécution. Après quelques essais infructueux d'un opticien d'ailleurs habile, chez qui le conducteur, M. Tabouret, avait été mis en apprentissage, Fresnel, qu'aucune difficulté ne pouvait rebuter, résolut de tenter l'exécution en régie. Il organisa en conséquence et plaça sous la conduite de ce même employé le petit atelier qui servit en même temps comme dépôt provisoire pour le service des phares.

99. M. Tabouret s'acquitta avec un remarquable succès de la délicate fabrication dont il avait été chargé, et, dans les derniers jours de 1826, un premier appareil catadioptrique, destiné à l'éclairage du canal Saint-Martin, fut mis sous les yeux de la Commission des phares.

100. Ainsi que nous l'avons fait pressentir, les appareils de ce genre ne devaient, malgré leur puissance relative, et à raison même de leur trop vif éclat latéral, répondre qu'imparfaitement à leur destination première. Mais Fresnel, aussitôt qu'il en eut arrêté le programme, dut reconnaître avec quel avantage cette nouvelle combinaison s'appliquerait à l'éclairage des entrées de ports. Il s'empressa donc de calculer les éléments d'un fanal catadioptrique de 30 centimètres de diamètre intérieur, d'en tracer l'épure et d'en provoquer l'exécution en régie, ainsi qu'il résulte de son rapport à la Commission des phares, en date du... janvier 1827.

101. La partie optique de cet appareil fut travaillée au tour et montée par les soins de M. Tabouret, dans le même atelier où il poursuivait, pour le compte de la ville, la fabrication des fanaux destinés au canal Saint-Martin.

102. La planche XIII donne le dessin d'un fanal catadioptrique de quatrième ordre, réduit à l'échelle de $\frac{1}{10}$ d'après une épure autographe d'Augustin Fresnel.

Le tambour dioptrique, embrassant une zone de 64 degrés, est divisé en cinq éléments annulaires échelonnés.

Au-dessus de cette partie principale est disposée une coupole comprenant cinq anneaux de verre à réflexion totale, qui occupent ensemble une zone de 47 degrés. Leur diamètre varie de 330 à 155 millimètres.

La partie inférieure est formée de trois anneaux catadioptriques superposés, qui embrassent une zone d'environ 29 degrés, et dont le diamètre varie de 340 à 265 millimètres. Il est d'ailleurs à observer que, en raison de l'occultation d'une partie de la lumière focale par le corps du bec de lampe, le profil générateur de chacun des anneaux inférieurs a été calculé en supposant le foyer placé un peu au-dessus du centre du tambour dioptrique, c'est à savoir, à 6 millimètres pour le premier, à 10 millimètres pour le second et à 15 millimètres pour l'anneau inférieur.

L'armature en cuivre de ce système optique se compose ordinairement de quatre montants, évidés suivant le profil des anneaux de verre qu'ils embrassent, et reliés, à la base ainsi qu'au sommet, par deux cercles horizontaux.

Dans le cas qui se présente le plus fréquemment, celui où l'horizon maritime à éclairer par ces fanaux n'embrasse pas plus des trois quarts de la circonférence, le fuseau qui peut rester obscur est occupé par une lampe à niveau constant garnie d'un réflecteur à courbure sphérique.

Si la lumière doit être répandue sur tout l'horizon, on peut illuminer l'appareil catadioptrique avec une lampe hydrostatique ou une lampe dite *à modérateur* à réservoir inférieur, ou avec un bec à gaz. Dans ce cas exceptionnel, un quart du tambour diop-

trique est disposé en portière mobile, afin que le gardien puisse régler la flamme focale sans avoir à retirer la lampe.

L'éclat projeté dans tous les azimuts par l'appareil ainsi disposé équivaut à dix fois environ le bec ordinaire d'Argant allumé à son foyer.

103. L'exécution du premier appareil catadioptrique de feu de port était à peine commencée, quand les progrès incessants de la maladie organique contre laquelle Fresnel luttait si péniblement depuis quelques années vinrent mettre un terme fatal à ses travaux scientifiques et administratifs. «Que de choses j'aurais encore «à faire!» disait-il en adressant un dernier adieu à son excellent ami Arago, qui l'avait si généreusement soutenu et encouragé à ses débuts dans la carrière des sciences. Cette suprême et douloureuse exclamation devait s'appliquer surtout, dans la pensée du mourant, à ses recherches sur la théorie de la lumière. Quant à son nouveau système de phares, il pouvait être considéré comme une œuvre achevée au point de vue théorique. Il ne s'agissait plus, en effet, pour le développement de cette brillante création, que de perfectionner les procédés d'exécution et d'étudier, sous le rapport pratique, les variantes qui pouvaient être utilement introduites dans les combinaisons des éléments dioptriques et catadioptriques imaginés par Fresnel, perfectionnements et études qu'il léguait aux continuateurs de ses travaux.

IV.

CONCLUSION.

APPLICATION DU SYSTÈME DE FRESNEL À L'ÉCLAIRAGE DES CÔTES DE FRANCE.

104. Nous terminerons cette Introduction par le résumé du projet général adopté, en 1825, pour l'éclairage des côtes de

France. Sa production précéda d'une année les derniers compléments apportés par Fresnel à son système de phares, et notamment l'invention des appareils catadioptriques; mais nous n'aurions pu, sans embarrasser l'exposition de ce système, nous astreindre à suivre partout un ordre rigoureusement chronologique.

105. La composition optique, l'ordre et les caractères des appareils d'éclairage ayant été arrêtés sous les principaux rapports, il restait à déterminer les points de notre littoral qui devaient être signalés par des phares, et à combiner dans cette distribution les feux de diverses apparences et de diverses portées, de manière à guider aussi sûrement que possible la navigation nocturne.

Cet important travail fut spécialement confié par la Commission des phares à l'un de ses membres, le contre-amiral de Rossel, directeur du dépôt des cartes et plans de la marine et membre de l'Académie des sciences. Le résultat de ses études à ce sujet est consigné dans le projet sous forme de rapport, que nous avons textuellement reproduit[a], eu égard à la part prise à sa rédaction par Fresnel, pour tout ce qui est relatif à la composition optique, au caractère et à la portée des divers appareils imaginés par lui.

106. Après le plus mûr examen et de nouvelles expériences sur la portée et le caractère des feux, le projet de M. de Rossel fut

---

[a] Voir N° XIII (A). — Parmi les principaux documents que M. de Rossel eut à consulter pour son étude, nous devons citer surtout la première partie du *Nouveau Neptune français*, que dressait alors le savant hydrographe Beautemps-Beaupré. Après l'achèvement de la reconnaissance hydrographique de nos côtes de l'Océan, Beautemps-Beaupré fut appelé à la Commission des phares, dont il devint une des lumières par ses connaissances spéciales, jointes au jugement le plus sûr et au zèle le plus ardent. Nous regrettons de n'avoir trouvé dans les papiers de Fresnel aucune trace de ses relations avec cet homme si éminent, pour lequel il professait la plus haute estime, et dont les conseils ont été si précieux au successeur de notre auteur dans la direction des phares.

définitivement adopté par la Commission des phares, dans la séance du 9 septembre 1825 [a].

L'éclairage des côtes de France devait comprendre, suivant le tableau récapitulatif :

28 phares du premier ordre;
4 phares du deuxième ordre;
18 phares du troisième (grand modèle et petit modèle).

Total 50 phares, auxquels devait être ajouté un nombre encore indéterminé de *fanaux de port*.

107. Les espacements et les caractères des feux avaient été combinés de telle manière, que, à l'exception de deux lacunes sur la côte des landes de Gascogne, le navigateur longeant notre littoral à quelques lieues de distance devait toujours avoir en vue un phare au moins, et que les feux de caractère identique ou analogue se trouvaient généralement séparés par des distances excédant le maximum présumable des erreurs d'estime.

108. Dans ce projet d'ensemble figuraient les neuf phares qui

---

[a] La Commission des phares se trouvait alors composée de :

MM. Becquey, conseiller d'État, directeur général des ponts et chaussées, *président;*
Halgan, contre-amiral, directeur du personnel au ministère de la marine;
De Rossel, contre-amiral honoraire, directeur du dépôt des cartes et plans de la marine, membre de l'Académie des sciences;
Rolland, inspecteur général des constructions navales;
Arago, astronome, membre de l'Académie des sciences et du Bureau des longitudes;
Mathieu, astronome, membre de l'Académie des sciences et du Bureau des longitudes;
De Prony, inspecteur général des ponts et chaussées, membre de l'Académie des sciences;
Sganzin, inspecteur général des travaux hydrauliques des ports militaires;
Tarbé de Vaux-Clairs, inspecteur général des ponts et chaussées;
A. Fresnel, ingénieur en chef des ponts et chaussées, membre de l'Académie des sciences, *secrétaire* de la Commission.

Le projet de M. de Rossel, bien que portant la date du jour même de son adoption, avait été l'objet de plusieurs délibérations antérieures.

composaient alors, avec quelques fanaux de port, tout l'éclairage de nos côtes. Sur ce nombre, deux seulement, le phare de *Cordouan*, renouvelé en 1823, et l'appareil lenticulaire de troisième ordre (petit modèle) installé sur la tour de l'*Heuguenar*, à Dunkerque, à la fin de 1824, satisfaisaient au programme. Les sept autres anciens établissements étaient à renouveler dans leurs appareils ou même à reconstruire en totalité.

109. Malgré les garanties qu'offrait à l'administration la haute compétence de la Commission des phares, il parut indispensable, avant d'arrêter définitivement le système d'éclairage de notre littoral, d'appeler, sur un projet auquel se rattachaient des intérêts si nombreux et si graves, l'examen et les observations des navigateurs français et étrangers. En conséquence, le rapport de M. de Rossel fut publié et transmis aux autorités maritimes ainsi qu'aux principaux consulats, pour être soumis à l'enquête la plus étendue.

110. Les résultats de cette enquête furent, en somme, pleinement favorables aux dispositions proposées par la Commission. On put donc espérer qu'à une époque assez prochaine nos côtes maritimes se trouveraient pourvues d'un éclairage bien coordonné dans toutes ses parties, et de beaucoup supérieur, quant aux effets utiles et économiques des nouveaux phares, aux résultats obtenus des plus puissants appareils de l'ancien système.

NOTE COMPLÉMENTAIRE.

CALCUL DES ÉLÉMENTS OPTIQUES DES APPAREILS LENTICULAIRES D'AUGUSTIN FRESNEL.

Les éléments dont se compose la partie optique des appareils d'éclairage imaginés par A. Fresnel se réduisent à trois espèces principales, savoir :

(*a*) *Tambour dioptrique;*

(*b*) Anneaux catadioptriques;

(*c*) Zones de miroirs paraboliques.

(*a*) CALCUL DU PROFIL D'UN TAMBOUR DIOPTRIQUE.

Ainsi que nous l'avons dit, le profil générateur d'un tambour dioptrique comprend, symétriquement disposés sur une même base rectiligne :

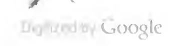
1° Un ménisque central;

2° Deux séries d'échelons trapézoïdaux.

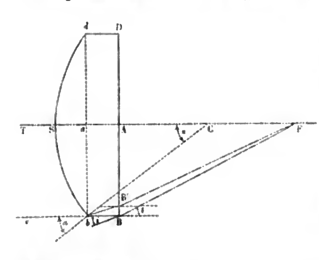
Les facettes de contact et de collage de ces pièces sont, d'ailleurs, comprises entre deux parallèles, en sorte que la partie lenticulaire du profil se trouve doublée d'un renfort rectangulaire.

1° Calcul du ménisque.

Le rayon de courbure du ménisque, calculé d'après la formule applicable aux incidences voisines de l'axe, serait trop petit pour les points extrêmes. Il faut donc, afin de corriger autant que possible l'aberration de sphéricité, prendre une moyenne entre le rayon extrême et le rayon central.



Occupons-nous d'abord du rayon extrême.



Soient : F, le centre focal; FT, l'axe optique; BDdSb, le profil du ménisque.

Représentons par

r, l'indice de réfraction;

φ, la distance focale AF;

l, la demi-hauteur AB du ménisque;

ε, l'épaisseur totale AS du ménisque à l'axe;

e, l'épaisseur Bb;

θ, l'angle d'incidence en B;

i, l'angle réfracté correspondant;

θ', l'angle d'incidence en B';

i', l'angle réfracté correspondant;

α, l'angle d'émergence du rayon FB'be;

ρ', le rayon de courbure Cb.

On aura

$$\rho' = \frac{l}{\sin\alpha} \quad \text{et} \quad \sin\alpha = r\sqrt{\frac{1-\cos^2 i'}{1+r^2-2r\cos i'}}.$$

Le calcul de cos i' peut être simplifié en admettant que i' est sensiblement égal à i.

Cette hypothèse, qui équivaut à faire, pour cette première approximation, abstraction de l'épaisseur Bb du renfort, conduit aux équations

$$\sin\alpha = \frac{\sin\theta}{\sqrt{1+r^2-2\sqrt{r^2-\sin^2\theta}}}, \text{ et } \rho' = \frac{l}{\sin\theta}\sqrt{1+r^2-2\sqrt{r^2-\sin^2\theta}}.$$

Ayant ainsi déterminé ρ', on en déduira l'épaisseur centrale

$$\varepsilon = \rho' - \frac{l}{\tan\!g\,\alpha} + e.$$

Pour calculer le rayon de courbure répondant aux incidences voisines de l'axe du ménisque, on pourra se servir de la formule approximative

$$\rho'' = (r-1)\left(\varphi + \frac{e}{r}\right),$$

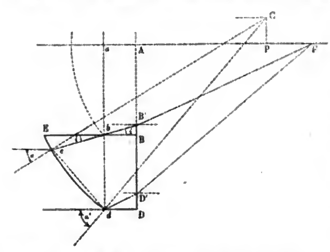
et l'on prendra enfin, pour rayon de courbure du ménisque, la moyenne

$$\frac{1}{2}(\rho' + \rho'').$$

Le calcul de chaque élément annulaire d'une hauteur donnée λ consiste dans la détermination du rayon de courbure de la face d'émergence et des coordonnées du centre de courbure. 2° Calcul d'un élément annulaire.

Prenons pour exemple l'anneau immédiatement inférieur au ménisque central.

Soient F le point focal et C le centre de courbure.



Le rayon émergent supérieur, devant se confondre avec le rayon émergent inférieur du ménisque central, passera par le point b, et sera produit par le rayon incident et réfracté FB'b.

De même le rayon émergent inférieur, passant par l'angle extrême d, sera produit par le rayon incident et réfracté FD'd.

Cela posé, désignons par α et α' les angles réfractés extérieurs des deux rayons extrêmes Ce et Cd; par i l'angle Ebe que fait avec l'axe optique la direction du rayon supérieur, après la première réfraction, et par e l'épaisseur Bb.

On calculera les deux angles α et α' d'après la formule ci-dessus,

sauf à les porter, par quelques calculs de fausse position, au degré d'exactitude nécessaire, et la valeur du rayon de l'arc E*ed* sera donnée par la formule

$$\rho = \frac{ed}{2 \sin \frac{1}{2}(\alpha - \alpha')};$$

on a d'ailleurs

$$ed = \frac{\lambda \sin ebd}{\sin bed} = \frac{\lambda \cos i}{\cos [\alpha - i + \frac{1}{2}(\alpha' - \alpha)]}.$$

Quant aux coordonnées *a* et *b* du centre de courbure, elles seront données par les équations :

$$a = c\text{P} = \rho \sin \alpha' - ad = \rho \sin \alpha' - (l + \lambda);$$
$$b = \text{AP} = \rho \cos \alpha' - \text{A}a = \rho \cos \alpha' - e.$$

Panneaux mobiles des appareils à feu fixe varié par des éclats.

Les panneaux mobiles à éléments cylindriques verticaux, employés pour varier les *feux fixes* par des *éclats* précédés et suivis de *courtes éclipses*, ont été exécutés sur le même patron que le tambour autour duquel on les fait tourner. De cette identité de profil résulte pour les faisceaux mobiles, en raison de l'excentricité, une divergence qui en diminue l'éclat, mais qui en prolonge la durée, et cela sans perte de lumière, attendu qu'il n'y a pas de déviation dans le sens vertical.

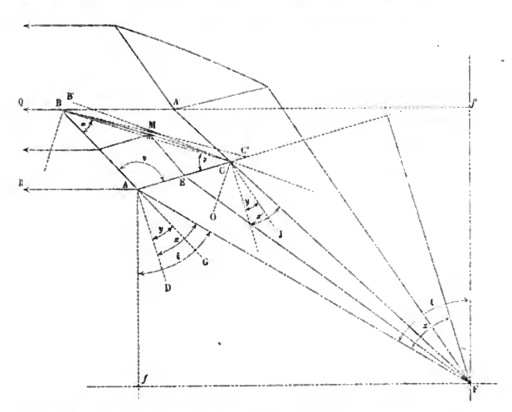
(*b*) CALCUL DES ANNEAUX CATADIOPTRIQUES.

Pour calculer le profil générateur d'un système accessoire d'anneaux catadioptriques (dont nous supposerons l'axe vertical), nous avons d'abord à considérer, relativement à la section triangulaire ABC de l'un quelconque de ces éléments :

1° Que le rayon extrême FC, après une première réfraction en C, sur le côté d'incidence AC, devra être réfléchi intérieurement suivant CA, puis de nouveau réfracté au point A, pour sortir horizontalement suivant AR;

2° Que l'autre rayon extrême FA, après une première réfraction

en A suivant AB, devra être réfléchi intérieurement en B, puis réfracté au même point, pour sortir parallèlement à AR;



3° Que tout rayon intermédiaire FE, après une première réfraction en E, devra être réfléchi au point n de la courbe BnC suivant une parallèle au côté d'incidence AC, puis réfracté une seconde fois à sa sortie parallèlement à AR;

4° Qu'il résulte de ces conditions que les angles d'émergence et d'incidence au point A, ou leurs compléments BAR et CAF, sont égaux.

Cela posé, étant données les coordonnées Af et fF du sommet obtus A, calculons d'abord l'angle FAD, que nous désignerons par x.

Soient :

y, l'angle réfracté GAD;

ξ, l'angle FAf;

r, l'indice de réfraction.

Pour déterminer x et y on a les deux équations

$$\sin x = r \sin y \tag{1}$$

et

$$y = 2x - \xi; \tag{2}$$

d'où l'on déduit

$$\sin x = r \sin (2x - \xi),$$

équation qui peut être mise sous la forme :

$$\sin^4 x - \frac{1}{r}\sin\xi \sin^3 x - \frac{(4r^2-1)}{4r^2}\sin^2 x + \frac{1}{2r}\sin\xi \sin x + \frac{1}{4}\sin^2\xi = 0. \tag{3}$$

Mais, sans pousser plus loin les transformations, nous ferons remarquer qu'en procédant par voie de fausses positions, à l'aide des équations élémentaires (1) et (2), c'est-à-dire en modifiant les valeurs approximatives de x jusqu'à ce que l'équation $2x - y = \xi$ soit à très-peu près satisfaite, on arrive assez promptement au degré d'exactitude désirable.

Nous ferons de plus observer que les valeurs de ξ peuvent varier de 90° à zéro, en sorte que le système de zones catadioptriques pourrait embrasser toute la sphère lumineuse des rayons émanés du foyer. Mais, indépendamment des autres motifs qui limitent l'extension de ce système, il faut tenir compte, aux approches du plan équatorial, de la perte en lumière incidente de l'obliquité des incidences, qui s'accroît avec l'angle ξ.

L'angle d'incidence x étant déterminé, on en déduira la valeur de l'angle réfracté $y = \text{arc}\sin\frac{1}{r}\sin x$ et celle de $\xi = 2x - y$, et l'on tracera les deux côtés de l'angle BAC, en faisant l'angle CAF $= 90° - x$, et BAR $= 90° - x$.

On fixera ensuite la longueur AC du côté réfractant, ou l'ouverture de l'angle AFC, selon les dimensions de l'appareil, en ayant égard tant à la fragilité qui résulterait pour l'anneau d'une trop faible section qu'à l'absorption de la lumière au delà d'une certaine épaisseur.

L'angle AFC étant donné ou calculé, on en déduira l'angle d'inci-

dence au point C, ou $x' = x - \text{AFC}$, et l'angle réfracté au même point, $y' = \text{arc}\sin\frac{1}{r}\sin x'$.

Pour passer de là à la détermination du troisième sommet B, il faut préalablement calculer les inclinaisons des deux tangentes extrêmes à l'arc réflecteur B*n*C.

Soient BC′ et CB′ ces deux tangentes.

Remarquons d'abord que le rayon réfléchi intérieurement en B doit être parallèle au côté AC; d'où il résulte que les deux angles B et C′ du triangle ABC′ sont égaux, et qu'ainsi ce triangle est isocèle.

L'autre tangente extrême CB′ formera, par son intersection avec la première, un second triangle isocèle CMB, et, par conséquent, l'angle CMC′ sera double de CBC′.

Élevons maintenant sur la tangente CB′, au point C, la perpendiculaire CO. Elle divisera en deux parties égales l'angle compris entre le rayon réfracté CJ et le rayon réfléchi CA. Ainsi l'on aura JCO = ACO.

Appelons :

v, l'angle obtus BAC;

φ, l'angle ACB;

ω, l'angle ABC;

β, l'angle AC′B = ABC′;

θ, l'angle CBC′ $= \beta - \omega$;

μ, l'angle ACM $= \varphi + \theta$.

Nous aurons

$$\varphi = \mu - \theta = \mu - \tfrac{1}{2}(\mu - \beta).$$

Or

$$\mu = 45^\circ - \tfrac{1}{2}y';$$

d'où

$$\varphi = \tfrac{1}{2}(45^\circ - \tfrac{1}{2}y' + \beta) = \tfrac{1}{4}[270^\circ - (v + y')].$$

On trouvera de même

$$\omega = \tfrac{1}{4}[450^\circ - (3v - y')].$$

Connaissant ainsi dans le triangle ABC le côté AC et les deux angles adjacents, on déterminera le sommet B par le calcul du côté AB ou du côté CB.

Le centre de courbure de l'arc BnC sera déterminé par la rencontre de la perpendiculaire élevée sur le milieu de la corde BC avec la perpendiculaire CO à la tangente MC.

La longueur du rayon de courbure étant trouvée, il ne restera plus à calculer, pour ce premier anneau, que les coordonnées du centre par rapport à l'axe de l'appareil Ff' et à l'horizontale Bf' menée par le sommet du triangle mixtiligne.

Ayant ainsi déterminé la section ABnC de l'anneau, que nous supposerons être immédiatement supérieure au tambour dioptrique, on passera au calcul de l'anneau suivant, dont le sommet A' se trouvera à l'intersection de l'horizontale menée par le sommet B et du prolongement du rayon extrême FC. On pourra, d'ailleurs, pour rendre continue la courbure de la coupole, maintenir l'angle $x-x'$ constant, du moins jusqu'à la zone où le côté d'incidence ne présentera pas une trop forte différence avec AB.

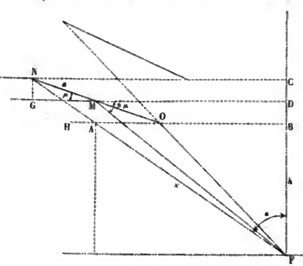
On pourra disposer et calculer de même une coupole catadioptrique renversée pour recueillir les rayons lumineux passant au-dessous du tambour dioptrique. Mais, s'il s'agit d'un grand appareil, dans l'intérieur duquel il sera nécessaire que l'on puisse pénétrer, le système devra prendre la forme cylindrique, et les sommets A de la série inférieure des triangles générateurs des anneaux seront, en conséquence, placés sur une même verticale.

Nous ferons enfin remarquer que, en raison de l'occultation du centre focal par la couronne extérieure du bec de la lampe centrale, l'adoption d'un foyer unique entraînerait une très-notable perte de lumière pour les zones inférieures. Comme elles ne reçoivent guère de rayons incidents que de la partie supérieure de la flamme, il faut observer, dans le calcul, de relever le point focal, à mesure que les zones s'abaissent.

(c) CALCUL DES ZONES ACCESSOIRES DE MIROIRS CONCAVES.

Théoriquement, ainsi que nous l'avons dit, l'appareil catoptrique accessoire, destiné à recueillir et projeter sur l'horizon les rayons focaux passant au-dessus et au-dessous du tambour dioptrique, devrait se composer de zones circulaires à section parabolique. Mais, pour rendre ce système exécutable en glaces étamées, Fresnel dut le former d'assemblages polygonaux de petits miroirs concaves, et remplacer dans ces réflecteurs la courbe parabolique par l'arc de cercle osculateur.

Cela posé, soient : F, le centre focal ; HB, le plan horizontal affleurant le dessus du tambour dioptrique, et FA, un rayon lumineux rasant le bord de ce tambour.



Soit NO la corde de l'arc générateur de la première zone catoptrique.

Il s'agit d'abord de déterminer la position de la corde NO dans l'angle NAB, de telle manière qu'elle forme en son milieu deux angles égaux avec le rayon incident FM et l'horizontale MG.

Soient :

$2a$, la largeur ON de la zone de miroirs ;

α, l'angle NFC du rayon extrême avec la verticale ;

h, la hauteur FB ;

λ, la distance FA ;

μ, l'angle OMF compris entre la corde NO et le rayon incident répondant à son milieu M.

On a dans le triangle FMD

$$\text{tang}\, 2\mu = \frac{\text{FD}}{\text{MD}} = \frac{h+\text{NG}}{\text{NG}-\text{MG}} = \frac{h + a \sin\mu}{(h+2a\sin\mu)\,\text{tang}\,\alpha - a\cos\mu}.$$

Substituant à tang 2μ et à cos μ leurs valeurs en fonction de sin μ $\left(\text{en observant que } 1+\text{tang}^2\alpha = \frac{\lambda^2}{h^2}\right)$ et ordonnant par rapport à sin μ ou z, on arrive à l'équation

$$z^6 + \frac{h}{a}z^5 + \left(\frac{h^2}{4a^2} - \frac{h^2}{2\lambda^2} - 1\right)z^4 - \left(\frac{h}{a} + \frac{h^3}{4a\lambda^2}\right)z^3 - \left(\frac{h^2}{4a^2} - \frac{9h^4}{16\lambda^4}\right)z^2 + \frac{3h^3}{8a\lambda^2}z + \frac{h^4}{16a^2\lambda^2} = 0,$$

dont la solution numérique serait trop laborieuse; mais on peut tourner la difficulté par un procédé mixte. A cet effet, après avoir obtenu graphiquement une valeur approchée de μ, on la substitue dans l'équation

$$\text{tang}\, 2\mu = \frac{h+a\sin\mu}{(h+2a\sin\mu)\,\text{tang}\,\alpha - a\cos\mu},$$

et, par voie de corrections successives, on arrivera à déterminer μ, et conséquemment la position de la première zone de miroirs, avec toute l'exactitude désirable.

De la valeur de l'angle μ on déduira la longueur du rayon incident FM ou ρ, ainsi que celle de l'abscisse MD ou x, et ces coordonnées donneront la valeur R du rayon du cercle osculateur à la parabole par la formule connue

$$\text{R} = 2\sqrt{2}\sqrt{\frac{\rho^3}{\rho - x}}.$$

Enfin la flèche de courbure pourra être calculée approximativement par la formule

$$f = \frac{\overline{\text{MN}}^2}{2\text{R}} = \frac{a^2}{2\text{R}}.$$

Pour passer de la première zone à la seconde, on mènera par les deux angles supérieurs N et O du profil du premier miroir l'horizontale NE et le rayon vecteur FO, et c'est entre ces deux lignes que devra

être balancé le second miroir, ainsi que nous venons de faire pour le premier.

On observera, d'ailleurs, de disposer en coupole le système des zones de miroirs supérieurs au tambour dioptrique et d'étager en prisme droit les zones inférieures, ainsi que nous venons de l'expliquer pour les anneaux catadioptriques.

ŒUVRES

D'AUGUSTIN FRESNEL.

PHARES

ET

APPAREILS D'ÉCLAIRAGE.

PHARES

ET

APPAREILS D'ÉCLAIRAGE.

N° I.

PROJET D'EXPÉRIENCES

SUR L'ÉCLAIRAGE DES PHARES[a].

[*Fragment.* — Août 1819.]

1. La question pour laquelle il est le plus indispensable de consulter l'expérience, et qui peut le moins se décider par la théorie, est

---

(a) L'Introduction dont nous avons fait précéder cette dernière partie de notre publication rappelle dans quelles circonstances Arago ouvrit à Augustin Fresnel, en provoquant son adjonction à la Commission des phares, une carrière toute nouvelle, qu'il allait parcourir avec un succès aussi éclatant qu'inattendu. Aux termes de la lettre adressée à la Commission, le 21 juin 1819, par son président, M. Becquey, directeur général des ponts et chaussées et des mines, cette adjonction ne devait être que *temporaire*. Elle n'avait été demandée en effet que pour une série d'expériences spécialement relatives à l'amélioration des appareils *catoptriques* alors employés à l'éclairage des côtes maritimes; mais à peine Fresnel eut-il

N° I. la question relative à la confection des mèches. L'expérience a déjà prouvé à la Commission des phares que les petites mèches donnent une flamme plus vive et plus brillante que les autres, et qu'enfin la combustion d'une même quantité d'huile y produit plus de lumière. L'explication de ce phénomène remarquable qui a paru la plus probable, c'est que l'activité de la combustion se trouve augmentée dans la petite mèche circulaire par le rapprochement des différentes parties de la flamme. Rumford avait déjà remarqué que la lumière produite par deux bougies augmente en intensité, lorsqu'on les approche assez l'une de l'autre pour que leurs flammes se réunissent. L'analogie l'avait conduit à essayer des mèches multiples, composées d'un plus ou moins grand nombre de mèches plates disposées parallèlement et séparées seulement par des intervalles suffisants pour que l'air pût en alimenter la flamme. Il obtint avec cet appareil de grands effets de lumière. Il n'est pas impossible sans doute, en suivant la même idée, de faire des mèches circulaires concentriques, dont le système présenterait l'avantage d'une forme plus analogue à celle des cheminées ordinaires et

---

pris connaissance du programme à remplir, qu'il fut frappé de l'idée qu'on pourrait accroître dans une forte proportion l'effet utile et économique des phares, par la substitution de *grandes lentilles de verre* aux *réflecteurs paraboliques*. Cependant, tout en s'attachant à l'étude de ce nouveau système, le jeune ingénieur dut s'occuper, conjointement avec MM. Arago et Mathieu, des expériences comparatives auxquelles il s'agissait de soumettre les grands réverbères de Lenoir et de Bordier-Marcet, ainsi qu'un réflecteur parabolique exécuté par M. Robison, fournisseur de la corporation anglaise de Trinity-House.

Le Rapport que nous reproduisons ici, d'après une minute autographe inachevée ou incomplète, aura dû être soumis à la Commission des phares vers la fin du mois d'août 1819 : c'est du moins ce que l'on peut inférer de la lettre dont nous donnons un extrait sous le N° II (C). Nous n'avons d'ailleurs trouvé nulle trace des premières discussions auxquelles auront pu donner lieu les questions soulevées par Fresnel sur les moyens d'accroître l'intensité de la flamme focale des appareils d'éclairage, sur la substitution du gaz à l'huile, sur les effets des lentilles de verre comparés à ceux des miroirs métalliques, etc.

Relativement à l'incertitude de plusieurs dates, il est à observer que les procès-verbaux des séances de la Commission des phares, instituée depuis 1811, ne remontent qu'au mois de juillet 1824, époque de la nomination d'A. Fresnel aux fonctions de secrétaire, en remplacement de M. Sganzin, qui les avait remplies jusqu'alors sous le titre de *rapporteur*.

qui produirait peut-être encore une lumière plus vive, en raison de N° I.
la haute température de la partie centrale[a].

2. Les mèches multiples consommeraient sans doute plus d'huile que des mèches simples de même diamètre; mais, d'après les observations faites sur les petites mèches, dont les mèches multiples doivent reproduire les avantages, la consommation de l'huile croîtrait probablement dans un moindre rapport que la quantité de lumière produite; et c'est là la véritable économie.

3. La manière dont l'huile est amenée dans les mèches exerce aussi une grande influence sur la vivacité de la combustion. Dans les lampes ordinaires, le niveau du réservoir baissant, la quantité d'huile portée au foyer diminue continuellement[b]. Il est évident que ce système est vicieux. Une condition essentielle à remplir est de fournir constamment à la mèche la quantité d'huile nécessaire pour donner à la flamme le plus grand éclat possible.

Le mécanisme de Carcel produit très-bien cet effet; mais il paraîtra peut-être trop compliqué pour être employé dans l'éclairage des phares, à cause de la difficulté de le faire raccommoder sur les lieux, lorsqu'il viendrait à se déranger.

4. La lampe hydrostatique de MM. Girard me semble présenter à la fois l'avantage d'une construction simple et celui d'un effet constant. En l'adoptant il serait bon sans doute d'augmenter assez la hauteur de pression pour renouveler l'huile de la mèche par un courant continu. L'huile surabondante ne pourrait pas remonter d'elle-même vers la mèche, comme dans le mécanisme de Carcel; mais elle serait recueillie

---

[a] La priorité quant à l'idée des *mèches concentriques* paraît appartenir à Guyton de Morveau. (Voyez les *Annales de chimie*, 1re série, t. XXIV, p. 312.)

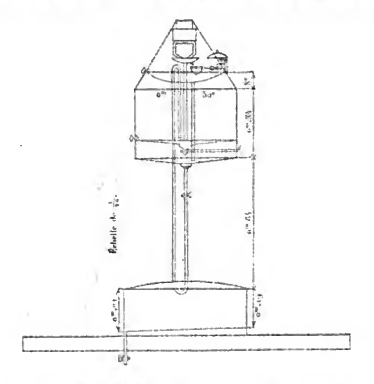
[b] Fresnel, pris en quelque sorte au dépourvu par son adjonction à la Commission des phares, n'avait encore, lorsqu'il rédigea ce projet d'expériences, que des notions à quelques égards incomplètes sur les appareils d'éclairage dont il s'agissait d'apprécier les effets. Ce qu'il dit ici des lampes *à niveau variable* ne pouvait s'appliquer aux grands réverbères paraboliques, ni même aux réverbères de ville, qui étaient illuminés par des lampes *à niveau constant*. — Voyez le *post-scriptum* du N° II (B).

N° 1. dans un vase et versée le lendemain dans le réservoir. Il serait important de déterminer par l'expérience quelle serait, dans la lampe hydrostatique, la hauteur de pression la plus favorable à la combustion [a].

[5 [b]. Il est encore d'autres questions relatives à la production de la lumière sur lesquelles il serait intéressant de consulter l'expérience. M. le chevalier Aldini, dont M. de Prony m'a procuré la connaissance, s'est beaucoup occupé de l'éclairage au gaz, et a eu la bonté de me communiquer les observations qu'il a faites sur ce sujet, dans son voyage en Angleterre, et les résultats de ses expériences.

---

[a] Fresnel fit exécuter dans ces conditions une grande lampe hydrostatique, dont nous reproduisons ici l'esquisse au vingtième. Elle fonctionnait très-régulièrement avec un bec à



quatre mèches concentriques, brûlant 750 grammes d'huile par heure. Mais le service de ce lourd équipage fut trouvé trop embarrassant. Il ne servit qu'aux premières expériences sur les appareils lenticulaires, et les lampes mécaniques à pompe ont été définitivement adoptées.

[b] Ce 5° paragraphe a été bâtonné par l'auteur sur son manuscrit.

Il paraît qu'il n'y a encore en Angleterre aucun phare éclairé par le moyen du gaz. Peut-être la complication des appareils employés jusqu'à présent fait-elle craindre que, dans le cas où les lumières viendraient à s'éteindre par quelque dérangement, il ne fût trop difficile d'y remédier sur-le-champ. M. Aldini pense néanmoins que le gaz pourrait être appliqué avec succès aux phares, en le retirant de la distillation de l'huile, dans les pays où elle n'est pas trop chère. Cette distillation, beaucoup plus facile que celle du charbon de terre, pourrait se faire, suivant lui, dans un appareil très-simple posé sur un petit fourneau. Un autre appareil de rechange serait préparé de manière à remplacer sur-le-champ celui qui fonctionnerait, s'il éprouvait quelque dérangement. M. Aldini a trouvé que la lumière produite par la combustion du gaz est plus brillante que celle qui résulte de la combustion immédiate de l'huile, et qu'un moyen d'augmenter encore beaucoup son intensité est d'y mêler de la vapeur d'eau. Il serait intéressant de vérifier ces expériences et de voir si la vapeur d'eau ne pourrait pas être employée avec avantage aussi dans le cas de la combustion immédiate de l'huile[a].] N° I.

6. C'est surtout relativement à la manière de produire la lumière qu'il est indispensable de consulter l'expérience. Quant aux moyens de la diriger, l'optique les indique en annonçant leurs résultats : elle peut même servir à les calculer à l'aide d'un petit nombre de données prises dans les observations, et épargner ainsi beaucoup d'essais inutiles.

---

[a] Voyez l'opuscule d'Aldini intitulé : *Saggio di osservazioni sui mezzi atti a migliorare la costruzione e l'illuminazione dei Fari, con Appendice sull' illuminazione dei Fari col gaz.* — Milano, 1823.

Malgré les chances de graves perturbations inhérentes à l'emploi du gaz, il présente, sous le rapport du facile développement des flammes et de leur maintien à une hauteur constante, des avantages qui appelaient le plus sérieux examen sur son application à l'illumination des appareils lenticulaires. Fresnel fit à ce sujet, de 1823 à 1827, de nombreuses séries d'expériences sur lesquelles il a laissé des notes avec quelques croquis. On conserve au Dépôt central des phares les becs à couronnes concentriques qui ont servi à ces essais. (Voir ci-après N° XXIII.)

N° I. 7. La principale donnée nécessaire pour calculer l'effet des réflecteurs est de connaître dans quelle proportion la lumière est réfléchie par le métal du réverbère, selon sa nature et son poli plus ou moins parfait. Ce rapport une fois connu, et la forme et les dimensions du réflecteur étant données, ainsi que celles du corps lumineux placé à son foyer, il sera facile en général de déterminer l'intensité et la divergence des rayons. Cependant, quand le poli est très-imparfait, les petites aspérités de la surface occasionnent elles-mêmes une divergence que l'observation seule peut évaluer.

8. Il est encore une chose sur laquelle l'expérience seule peut prononcer : c'est le rapport le plus avantageux à adopter, dans les feux tournants, entre la durée de l'éclipse et celle de la vision, qu'on n'augmente qu'aux dépens de l'intensité de la lumière[a].

Plus les rayons approchent du parallélisme, plus la lumière est vive et plus la sensation est forte, mais aussi moins elle dure longtemps.

9. Les réflecteurs, surtout quand ils sont peu profonds, ont l'inconvénient de ne point utiliser une partie considérable des rayons, et précisément ceux qui, plus rapprochés de la direction de l'axe, pourraient y être ramenés avec le moins de perte. La réfraction en fournit le moyen. Une large lentille placée devant la flamme d'une lampe, à la distance du foyer des rayons parallèles, projette une lumière très-vive dans la direction de son axe. J'ai pensé qu'on pourrait en faire une application avantageuse aux phares, et je me suis rencontré en cela avec M. Arago, qui avait eu la même idée. Nous avons seulement songé à des moyens différents pour la mettre à exécution. La difficulté est de construire des lentilles assez grandes et assez prismatiques sur leurs bords pour réunir des rayons très-divergents. Je crois qu'on pourrait y parvenir en les composant de plusieurs morceaux, ce qui permettrait de leur donner une épaisseur beaucoup moins considé-

[a] Voyez le fragment N° IV (A), § 3 et suivants.

rable, et présenterait à la fois l'avantage d'une plus grande légèreté et d'une transparence plus parfaite [a]. N° 1.

10. J'ai dessiné l'épure d'une lentille construite d'après ce système, qui aurait $0^m,60$ de longueur focale et $0^m,46$ en carré : elle embrasserait ainsi un angle de 45° dans les deux sens. Je l'ai fait estimer par un opticien, qui se chargerait de la faire pour 500 francs [b].

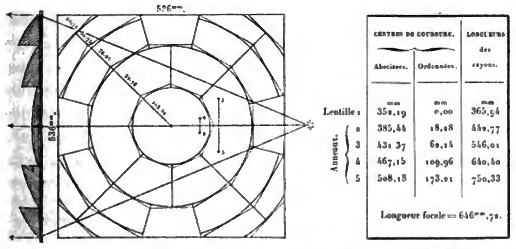
---

[a] Suivent sur la minute les deux paragraphes ci-après, bâtonnés par l'auteur :

..... Je ne propose pas néanmoins à la Commission d'en faire l'essai avant d'en avoir dessiné l'épure et de m'être rendu un compte exact de la dépense. J'espère avoir bientôt l'honneur de lui présenter sur ce sujet un projet plus détaillé. Mais on pourrait, en attendant, faire un essai sur les deux grandes lentilles qui sont à l'Observatoire et comparer les effets qu'elles produiraient avec ceux des meilleurs et des plus grands réflecteurs.

Des lentilles composées de deux verres convexes entre lesquels on introduit un liquide, comme dans celle qui est à l'Observatoire, pourraient être employées pour des feux fixes, et peut-être leur exécution serait-elle plus économique. Mais elles auraient sans doute l'inconvénient de se salir à la longue dans leur intérieur, et alors, pour les nettoyer, il serait nécessaire qu'on pût les ouvrir à volonté, ce qui rendrait leur construction plus difficile.

[b] Voici la copie réduite d'une ancienne épure, qui paraît offrir le résultat des premières études d'Augustin Fresnel pour l'exécution des lentilles échelonnées. Nous y joignons les indications de la longueur focale et des centres et rayons de courbure des diverses zones, d'après les calculs de l'auteur.



	Centres de courbure.		Longueurs des rayons.
	Abscisses.	Ordonnées.	
	mm	mm	mm
Lentille 1	352,19	0,00	365,94
Anneaux. 2	385,44	18,28	442,77
3	431 37	62,14	546,01
4	467,15	109,96	640,40
5	508,18	173,21	750,33

Longueur focale = $646^{mm},72$.

Bien que la distance focale ($646^{mm},72$) et le côté du panneau carré (536 millimètres)

N° 1. 11. En disposant huit lentilles semblables autour d'une mèche multiple ou d'un groupe de mèches simples très-rapprochées, on utiliserait toute la lumière qui en émanerait dans une zone de 45° de largeur verticale. Or la surface de cette zone est environ les $\frac{38}{100}$ de la surface sphérique, c'est-à-dire presque les $\frac{2}{5}$; et comme la flamme des mèches envoie toujours plus de lumière dans cette direction que dans toute autre, on pourrait estimer à la moitié des rayons ceux qui seraient réfractés dans cette zone équatoriale de 45°. Mais, eu égard au petit affaiblissement que la lumière éprouve à chaque réfraction, nous les supposerons seulement les $\frac{2}{5}$ de la lumière émise.

12. Estimons maintenant la quantité de lumière utilisée par un réflecteur parabolique de dimensions ordinaires. Il n'y a environ que les $\frac{2}{3}$ des rayons qui éprouvent la réflexion d'un réverbère ordinaire. à cause de son peu de profondeur. La réflexion sur une belle glace étamée, sous des incidences peu obliques, affaiblit la lumière de plus de moitié; les miroirs de télescope produisent une réflexion encore un peu plus faible; et les réflecteurs dont il s'agit ayant un poli beaucoup moins parfait, je ne crois pas que la lumière réfléchie dans ce cas soit plus du tiers de la lumière incidente. Or $\frac{1}{3}$ multiplié par $\frac{2}{3}$ ne ferait

---

diffèrent notablement des longueurs correspondantes mentionnées au présent Rapport (600 millimètres et 460 millimètres), divers rapprochements nous donnent tout lieu de croire que cette même étude aura servi de base à l'évaluation du paragraphe 10. On lit en effet, en marge du dessin autographe : «En supposant 0^m,46 *de côté* à cette lentille, sa surface sera précisément égale à celle du petit réflecteur anglais.» Il résulte d'ailleurs de l'examen de cette épure (dressée à l'échelle d'environ 418 millimètres pour mètre), ainsi que des notes qui accompagnent les calculs, que Fresnel s'était d'abord peu attaché à des dimensions préfixées et qu'il avait hésité sur l'échelle qui serait appliquée à l'exécution.

On remarquera que la figure que nous produisons présente, pour les zones concentriques, un double tracé, circulaire et polygonal, qu'explique l'impossibilité où l'on se trouvait, aux débuts, de faire exécuter sous forme annulaire les éléments des lentilles composées. Il est de plus à observer qu'ils devaient être assemblés et collés sur une glace plane, comme l'indique le profil ci-dessus; mais Fresnel renonça bientôt à une combinaison qui n'eût facilité l'ajustement des pièces de verre qu'en exposant le système à perdre sa transparence par l'altération de la colle.

que $\frac{2}{5}$, qui ne sont guère que la moitié de $\frac{3}{5}$, c'est-à-dire de l'effet produit par le système des lentilles. N° 1.

13. Une partie des rayons que j'ai supposés perdus dans ce système pourraient être utilisés et employés à éclairer vivement les abords du phare, en les recevant sur des glaces étamées placées dans l'intérieur de l'appareil et qui les renverraient au travers des lentilles suivant des directions peu inclinées à l'horizon. Enfin, comme cet appareil occuperait peu de place, surtout dans le sens vertical, on pourrait en mettre deux et même jusqu'à trois, les uns au-dessus des autres, dans une même lanterne, et l'on produirait ainsi, je crois, en doublant ou triplant la dépense d'huile, des effets très-supérieurs à ceux qu'on a obtenus jusqu'à présent [*].

14. Je ne proposerais pas néanmoins à la Commission la construction d'une lentille de 500 francs avant d'avoir vérifié, avec M. Arago, les évaluations qui servent de base à mon calcul, par des expériences directes sur la grande lentille de l'Observatoire comparée aux meilleurs réflecteurs.

RÉSUMÉ.

15. J'ai l'honneur de proposer à la Commission de résoudre par l'expérience les questions suivantes, qui me paraissent d'une haute importance pour le perfectionnement de l'éclairage des phares :

1° Les mèches multiples ne peuvent-elles pas présenter plus d'avantage que les mèches simples?

2° Quel est le système de lampe le moins compliqué et le plus propre en même temps à fournir constamment à une mèche la quantité d'huile nécessaire pour produire le maximum de lumière?

Il est évident que la manière la plus facile et la plus exacte de faire

---

(*) L'auteur n'a pas donné suite à cette dernière combinaison, qui eût présenté dans l'application les plus graves difficultés.

N° 1. des expériences comparatives sur les mèches est de les employer sans réflecteurs. Ainsi je serais d'avis, pour ces premières observations, de supprimer les réflecteurs, et, dans les expériences comparatives sur les réflecteurs, d'employer toujours la même mèche et la même lampe. . . . .

. . . .

II.

RÉFLECTEUR À DOUBLE EFFET

DE BORDIER-MARCET,

COMPARÉ

AUX MIROIRS PARABOLIQUES ORDINAIRES.

N° II (A).

LETTRE D'A. FRESNEL À M. SGANZIN,

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES,

Rapporteur de la Commission des phares.

Paris, le 29 août 1819.

Monsieur,

J'ai l'honneur de vous adresser, avec le dossier que vous avez bien voulu me confier, la Note que j'avais rédigée sur la question théorique que vous m'aviez proposée relativement à la comparaison des réflecteurs paraboliques simples avec les réflecteurs à double effet de M. Bordier-Marcet.

Je n'ai point trouvé dans le dossier les calculs sur lesquels M. Haudry appuie l'opinion que l'hyperbole serait préférable à la parabole dans la génération de la surface réfléchissante [a], et j'avoue que je n'en

[a] Il s'agit d'un mémoire dans lequel l'ingénieur en chef des travaux maritimes du Havre, M. Haudry, avait exposé ses idées sur les moyens d'améliorer les phares *à feu fixe*. L'auteur, préoccupé de la nécessité d'augmenter la divergence horizontale des rayons lumineux, pour obtenir une distribution moins inégale de la lumière dans les divers azimuts, proposait de substituer des miroirs hyperboliques aux miroirs paraboliques.

N° II (A). vois pas la raison. Je crois que le paraboloïde ne peut pas être exécuté avec trop de perfection; parce que les déviations qui résultent de la différence entre la courbe génératrice et la parabole, ou du défaut de poli, ont lieu également dans tous les sens autour de l'axe; tandis que, avec un paraboloïde bien exécuté, on peut, en disposant convenablement les lumières excentriques, obtenir des divergences beaucoup plus prononcées dans le sens horizontal que dans le sens vertical.

J'ai compris ce que M. Haudry entend par sa surface du genre des *tores* : c'est une expression géométrique empruntée à l'architecture, dans laquelle on appelle *tores* les moulures courbes de la base ou du chapiteau d'une colonne. Cette surface du genre des tores serait précisément le *réflecteur sidéral* [a] de M. Bordier-Marcet, si la courbe génératrice était une parabole tournant autour de son paramètre.

Je suis, etc.

A. FRESNEL.

---

[a] Ce réflecteur est formé de deux surfaces annulaires engendrées par la révolution d'une parabole autour de son ordonnée focale.

N° II (B).

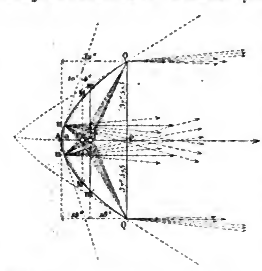
NOTE

SUR LA COMPARAISON THÉORIQUE DU RÉFLECTEUR PARABOLIQUE ORDINAIRE AVEC LE RÉFLECTEUR À DOUBLE EFFET DE M. BORDIER-MARCET [a].

[29 août 1819.]

Le réflecteur à double effet de M. Bordier-Marcet est composé de deux portions de paraboloïde de révolution, disposées sur un axe com-

[a] Cette Note fut demandée à Fresnel par M. Sganzin, à l'occasion de diverses études et expériences spécialement relatives à l'amélioration des deux phares à feu fixe du cap de la Hève, près du Havre. En 1811, les anciens réverbères à coquille et à mèche plate de Sangrain avaient été remplacés, dans la lanterne du sud, par dix réflecteurs *à double effet* de Bordier-Marcet. Le nouveau système était assurément très-supérieur au premier, quant à l'intensité des faisceaux lumineux projetés sur l'horizon; toutefois les dix grands réflecteurs, malgré la divergence de leurs rayons, étaient loin de satisfaire à la condition capitale pour un phare à feu fixe, c'est-à-dire à l'égale distribution de la lumière dans l'espace angulaire à éclairer.



Nous plaçons ici, comme complément au texte, le profil d'un réflecteur à double effet, réduit au vingtième, d'après une figure apostillée par A. Fresnel.

Il est presque superflu d'ajouter que l'on n'était pas encore en mesure d'essayer comparativement le *système lenticulaire*, dont l'exécution présentait de très-graves difficultés non encore résolues, et que l'inventeur appliqua d'abord aux phares *à éclipses*.

N° II (B). mun, mais dont les foyers sont à une petite distance l'un de l'autre, et dont les paramètres sont calculés de manière que le plan du cercle d'intersection des deux surfaces passe par le foyer le plus voisin des bords du réflecteur. Une mèche est placée à chaque foyer, et envoie ainsi des rayons qui sont réfléchis parallèlement à l'axe par la portion de paraboloïde au foyer de laquelle elle est située, et dans des directions divergentes par l'autre partie du réflecteur. Cet appareil équivaut à celui d'un réflecteur paraboloïde ordinaire qui porterait deux mèches sur son axe, l'une à son foyer et l'autre à une petite distance de ce point. Celui-ci réfléchirait, comme l'autre, des rayons parallèles à l'axe et des rayons obliques dont la divergence dépendrait du rapport entre l'intervalle qui sépare les deux mèches et le paramètre du paraboloïde. La seule différence, c'est que, dans ce second appareil, une des deux mèches produirait la totalité des rayons parallèles, et l'autre, la totalité des rayons divergents; tandis que, dans celui de M. Bordier-Marcet. chacune des deux mèches produit à la fois une partie des rayons parallèles et une partie des rayons divergents. Mais il est clair que cela revient au même pour l'effet total. Le seul avantage que présente la disposition de M. Bordier-Marcet, c'est qu'une mèche s'éteignant, on ne perd qu'une partie des rayons parallèles; tandis que, dans l'autre réflecteur, ils s'évanouiraient en totalité si la mèche située au foyer venait à s'éteindre, et il ne resterait plus que des rayons divergents. Mais, si une des mèches peut s'éteindre, on ne voit pas pourquoi le même accident ne pourrait pas arriver à l'autre, d'autant plus qu'elles appartiennent à la même lampe; et le cas très-rare de l'extinction d'une mèche ne peut provenir que de la mauvaise construction des lampes ou de la négligence de celui qui les allume. Cette considération me paraît donc de trop peu de poids pour la faire entrer dans la balance, et je pense qu'on pourrait substituer, sans inconvénient, au réflecteur à double effet de M. Bordier-Marcet l'appareil plus simple que je viens de décrire. D'ailleurs, quelle que soit l'importance qu'on attache à ce petit avantage, en envisageant les choses sous un point de vue théorique, ainsi que je me propose de le faire, je puis toujours regarder

ces deux appareils comme équivalents, et raisonner sur le cas le plus simple. N° II (B).

Il est évident qu'un miroir parabolique armé de deux mèches, dont une serait placée à son foyer, produirait plus d'effet qu'un miroir de même dimension qui ne serait éclairé que par une seule mèche à son foyer, comme les réflecteurs ordinaires; car le premier réfléchirait la même quantité de lumière que l'autre dans la direction de l'axe, et enverrait en outre des rayons divergents, qui prolongeraient la sensation de la vision lorsqu'on lui imprimerait un mouvement de rotation. Ainsi, en considérant l'économie dans la consommation de l'huile comme un objet de peu d'importance relativement au but qu'il s'agit d'atteindre, il est clair que le réflecteur à double effet de M. Bordier-Marcet ou l'appareil plus simple que je lui substitue est préférable à l'appareil ordinaire.

Maintenant voici la question qui se présente:

Est-ce sur l'axe du paraboloïde que se trouve la position la plus avantageuse de la lumière excentrique? — Pour peu qu'on y réfléchisse, on reconnaît bientôt que ce n'est pas dans le sens de l'axe, mais dans celui du paramètre horizontal qu'il faut augmenter les dimensions de l'objet éclairant. En effet, les rayons qui s'élèvent au-dessus de l'horizon étant perdus pour les observateurs, il s'agit d'obtenir une divergence dans le sens horizontal avec le moins de divergence verticale possible. Or en plaçant la lumière excentrique sur l'axe, il en résulte une divergence égale dans tous les azimuts autour de l'axe; tandis que, si elle était située sur la ligne horizontale menée par le foyer perpendiculairement à l'axe, les rayons qu'elle enverrait dans le plan horizontal et dans un plan vertical parallèle à l'axe n'éprouveraient pas de déviation verticale sensible (si cette lumière excentrique était peu éloignée du foyer, comme je le suppose); la plus grande déviation dans le sens vertical aurait lieu dans l'azimut de 45°, et serait moindre évidemment que la déviation produite dans le même azimut par la lumière excentrique placée sur l'axe, qui occasionnerait une déviation encore plus grande dans le plan vertical, où elle atteint son maximum. Voilà

N° II (B). ce que donne le premier aperçu, et ce que le calcul confirme. J'ai trouvé, par des considérations géométriques fort simples, que, lorsque la lumière excentrique est placée sur le paramètre horizontal, le maximum de divergence dans le sens vertical n'est que le quart du maximum de divergence dans le sens horizontal. Ce résultat n'est rigoureusement exact que pour un point très-voisin du foyer, mais approche encore assez de la vérité tant que l'intervalle n'est pas plus considérable que celui qui est nécessaire pour produire la divergence convenable. On voit donc qu'il est plus avantageux d'augmenter les dimensions de l'objet éclairant dans le sens du paramètre horizontal que dans le sens de l'axe, puisque alors la déviation verticale est égale à la déviation horizontale, et que l'augmentation la plus mal entendue serait celle qui aurait lieu suivant la direction verticale, puisque dans ce cas la déviation verticale serait quadruple de la déviation horizontale.

M. Bordier-Marcet a bien senti l'inconvénient, que présente son appareil, de faire diverger également les rayons dans tous les sens; et il indique, pour y remédier, un autre réflecteur d'une forme si compliquée qu'il me paraît à peu près inexécutable. M. Bordier-Marcet se trompe d'ailleurs en supposant qu'il empêcherait de cette manière toute déviation verticale. Il ne ferait que la rendre moindre que la déviation horizontale, et nous avons vu qu'on pouvait atteindre ce but avec un miroir parabolique ordinaire, en changeant seulement la forme de l'objet éclairant. Il est étonnant qu'une idée aussi simple ne lui soit pas venue à l'esprit lorsqu'il cherchait la solution de ce problème.

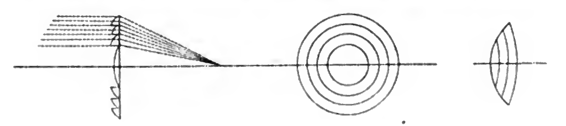
En me résumant, je suis donc d'avis que le réflecteur à double effet de M. Bordier-Marcet est préférable au réflecteur parabolique ordinaire armé d'une seule mèche; mais qu'en ajoutant à celui-ci deux autres mèches excentriques placées à droite et à gauche du foyer, on obtiendrait avec ce simple miroir parabolique un effet supérieur, pour les divergences horizontales, à celui que produit le réflecteur à double effet de M. Bordier-Marcet; et j'ai l'honneur de proposer à la Commis-

sion d'en faire l'essai. Il suffira pour cela de changer la lampe d'un réflecteur ordinaire. Je proposerai encore d'y faire un perfectionnement utile et d'une exécution facile : ce serait d'ajouter au réservoir un tube disposé comme dans les gazomètres, pour rendre la pression constante et l'écoulement de l'huile uniforme. Il serait bon que cette pression et l'ouverture du robinet qui introduirait l'huile dans le porte-mèche fussent réglées de manière que l'huile arrivât toujours en quantité surabondante, comme dans les lampes de Carcel, afin de donner à la flamme le plus grand éclat possible[a]. N° II (B).

P. S. En étudiant les réservoirs des quinquets ordinaires, j'ai remarqué que leur appareil équivaut à celui que je propose, excepté que, la hauteur de pression étant moindre que celle du bec, l'huile n'y est point amenée en surabondance[b].

(a) Nous avons déjà signalé ce fait singulier que, lorsque Fresnel fut appelé (au mois de juin 1819) à concourir aux expériences entreprises par la Commission des phares pour l'amélioration de l'éclairage de nos côtes maritimes, il abordait cette nouvelle étude avec des notions incomplètes sur le mode d'illumination des réverbères. (Voyez la note (b) de la page 7.)

(b) Sur le dernier feuillet de son manuscrit, Fresnel a ébauché l'esquisse (que nous reproduisons sous une forme plus arrêtée) d'une *lentille à échelons*. Selon toute apparence,



ce croquis aura été tracé pour les explications dont il est question dans la lettre suivante de M. Sganzin, en date du 6 septembre 1819.

N° II (C).

EXTRAIT

D'UNE

LETTRE DE M. SGANZIN,

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES,

Rapporteur de la Commission des phares,

À A. FRESNEL[a].

Paris, 6 septembre 1819.

J'ai été avant-hier, Monsieur et cher camarade, à l'Observatoire, où j'espérais vous trouver : j'y ai laissé le réflecteur anglais[b], avec une partie de ses accessoires, au moins ce qui m'a paru essentiel pour les expériences particulières que vous vous proposez de faire.

Vos observations sur le réflecteur Bordier, que j'ai lues avec attention, me paraissent très-exactes, et il n'y a aucun doute que, si l'on plaçait dans un paraboloïde de Lenoir une seconde lampe excentrique, on obtiendrait, à égalité de surface réfléchissante, la même somme de rayons réfléchis parallèlement à l'axe et divergents dans un système que dans l'autre. Le moyen que vous indiquez pour utiliser, dans le cas de nos phares, la plus grande quantité pos-

---

(a) Nous avons cru devoir reproduire cette lettre, au moins par extrait, eu égard à ce qu'elle fixe à très-peu près une date importante, celle des premières communications faites par Fresnel à la Commission des phares au sujet des *appareils lenticulaires* d'éclairage.

(b) Le *réflecteur anglais*, dont il est souvent question dans les registres des expériences comparatives faites à l'Observatoire par MM. Arago, Mathieu et Fresnel, sur divers appareils d'éclairage, est un miroir parabolique de cuivre plaqué d'argent, de 522 millimètres d'ouverture (environ 20 pouces anglais) et de 217 millimètres de profondeur, exécuté par M. Robison, fournisseur de la corporation de Trinity-House.

sible de rayons divergents, en plaçant à droite et à gauche du foyer, sur la ligne du paramètre, deux lampes, afin d'avoir moins de rayons divergents dans le sens vertical, au-dessous et au-dessus du plan horizontal, me semble bon en théorie; mais, outre la grande consommation d'huile qui résulterait de ces trois lumières, il y aurait un autre inconvénient, c'est celui de diminuer considérablement la surface réfléchissante par la nécessité de percer des trous dans le miroir, pour placer les cheminées de verre, et celle d'adapter des godets au-dessous, afin d'éviter les gouttes d'huile sur le réflecteur; en sorte que, à moins que les expériences que vous vous proposez de faire sur cette disposition de trois lampes dans un réflecteur n'établissent une très-grande supériorité dans le résultat, je pense qu'il vaudrait peut-être mieux employer, comme font les Anglais, un plus grand nombre de paraboloïdes simples d'une moindre dimension, et avec une seule lumière au foyer. N° II (C).

Si vous êtes obligé pour ces expériences de percer des trous dans un réflecteur, pour placer les cheminées des lampes latérales, je vous prie de ne pas employer à cet usage le réflecteur anglais : il vaudrait mieux sacrifier l'un des réflecteurs de Lenoir, que je tâcherai de vous procurer, à moins que M. Arago ne vous livre l'un de ceux qu'il a à sa disposition.

M. Mathieu, que j'ai eu le plaisir de voir à l'Observatoire, m'a expliqué votre projet de *lentille*, dont vous avez parlé à la dernière séance de la Commission, et que je n'avais pas bien compris. Je serais fort aise que vous fissiez l'expérience de ce moyen pour remplacer nos miroirs métalliques; et comme j'ai à la disposition de la Commission de très-belles glaces de 28 à 30 pouces de côté, et qui ont servi aux expériences de l'année dernière, vous pourriez en prendre une pour y adapter les portions de calottes sphériques dont l'assemblage doit former votre lentille. . . . .

Recevez, Monsieur et cher camarade, etc.

L'inspecteur général des travaux maritimes,

J. SGANZIN.

N° II (D).

LETTRE DE M. SGANZIN À A. FRESNEL.

Paris, le 23 octobre 1819.

J'ai reçu, ces jours derniers, Monsieur et cher camarade, la visite de M. Hamelin, qui a été voir le réflecteur anglais[*] à l'Observatoire. Il m'a assuré qu'il avait ou qu'il trouverait les moyens de fabriquer des réflecteurs *en plaqué,* pourvu qu'ils n'excèdent pas 18 pouces de diamètre, et *argentés,* de quelque grandeur que nous les voulions, à la condition que nous lui fournirons le profil de la courbe génératrice du réflecteur; et comme il y a de la tôle de cuivre de différentes épaisseurs, il faudra que nous déterminions celle qu'il conviendra de choisir, relativement à la grandeur du réflecteur.

Je vous prie, en conséquence, Monsieur et cher camarade, de voir M. Arago et de déterminer avec lui par quel essai nous commencerons. Il me semble qu'il conviendrait de commencer par un réflecteur plaqué, des dimensions d'ouverture et d'épaisseur de tôle semblables au réflecteur anglais, pour en comparer les effets; et si M. Hamelin réussit dans ce premier essai plaqué, et que son prix convienne à la Commission, nous en ferions faire ensuite d'une ouverture plus considérable et de la forme qui sera jugée la meilleure par la Commission.

J'ai été informé par M. Bordier-Marcet que l'appareil de la tour des Baleines (île de Ré) était monté dans la lanterne de l'Arc de triomphe, et que M. Wagner s'occupait de l'arrangement de la machine. D'après cet état de choses, il me semble que nous pourrions, dès lundi prochain, commencer les expériences, pour constater l'effet de cet appareil. . . . .

. . . .

J'ai eu regret de ne pas me trouver mardi dernier [19 octobre] dans mon cabinet lorsque la Commission s'y est réunie. J'étais au Conseil des ponts et

[*] Voyez la lettre précédente.

chaussées, que je n'ai pu quitter qu'à quatre heures et demie. Vous étiez parti lorsque je m'y suis rendu ; mais la Commission a pris une bonne détermination, à laquelle j'adhère, en vous autorisant à faire une dépense de 500 francs pour la *fabrication de votre lentille*[a]. N° II (D).

Recevez, etc.

J. Sganzin.

---

[a] Cette lettre, en même temps qu'elle fait connaître l'objet des expériences comparatives dont Fresnel eut à s'occuper à ses débuts, comme adjoint à la Commission des phares, fixe une date importante, celle de la première délibération relative à la construction et à l'essai d'un appareil dioptrique d'éclairage. La lentille polyzonale dont il s'agit ici fut illuminée pour la première fois le 1er mars 1820.

III.

EXPÉRIENCES

SUR

LES LAMPES À MÈCHES CONCENTRIQUES.

N° III (A).

NOTE

SUR

L'OBJET ET LES RÉSULTATS DES EXPÉRIENCES FAITES À L'OBSERVATOIRE

PAR MM. ARAGO ET FRESNEL [a].

L'objet de nos recherches est de savoir si l'on ne pourrait pas obtenir des flammes plus brillantes que celle des lampes ordinaires, en réunissant plusieurs mèches concentriques dans un seul bec, d'après le système de M. de Rumford [b]. Quoique nous n'ayons sans doute pas atteint le maximum d'effet qu'on puisse produire avec les becs que nous avons fait construire, nous sommes déjà parvenus à des résultats très-satisfaisants. Avec un bec portant deux mèches concentriques, dont la plus

[a] Cette Note, datée du 8 décembre 1819, semble avoir été destinée à l'Académie des sciences. Une seconde Note plus étendue sur le même sujet a été annexée au Mémoire N° VIII, et reproduit à peu près textuellement l'article inséré, sous les noms de MM. Arago et Fresnel, dans le cahier d'avril 1821 des *Annales de chimie et de physique*, ainsi que dans le cahier de juin, même année, du *Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale*.

[b] Ou plutôt de Guyton de Morveau. (Voir les *Annales de chimie*, 1re série, t. XXIV, p. 312.)

N° III (A). grande n'avait que 44 millimètres de diamètre, et qui équivalaient ensemble, pour leur développement, à trois mèches ordinaires, nous avons obtenu une lumière égale à celle de cinq becs ordinaires [d'Argant]. La consommation de l'huile n'était guère plus grande que celle de quatre becs. Ainsi, par rapport à la quantité de lumière produite, il y aurait environ un cinquième d'économie dans la dépense d'huile, ou au moins un sixième.

Nous pensons que des becs doubles de cette espèce pourraient être substitués avec avantage aux becs ordinaires dans les réflecteurs avec lesquels on voudrait produire de grands effets, et dispenseraient de les multiplier autant qu'on le fait pour atteindre ce but dans les phares qui doivent être aperçus de très-loin.

Nous avons essayé aussi des becs triples, et nous avons déjà obtenu de grands effets de lumière. Avec un bec triple, dont les mèches équivalaient ensemble à huit mèches ordinaires, nous avons produit une lumière égale à celle de quinze becs ordinaires ou à plus de cent bougies. Nous n'avons cependant pas encore résolu le problème des becs triples d'une manière aussi satisfaisante que celui des becs doubles, car nous ne sommes pas encore parvenus à séparer des bords du bec triple la flamme des deux mèches intérieures. Mais nous espérons en venir à bout.

Ces becs triples sont trop gros pour que nous songions à les placer dans des réflecteurs; c'est seulement pour le système d'un phare composé de *lentilles* qu'il serait nécessaire de réunir ainsi beaucoup de lumière sous un volume peu considérable.

Nous nous occupons dans ce moment d'essais sur la forme et les dimensions les plus avantageuses à donner aux cheminées de verre, qui ont une si grande influence sur la combustion de l'huile et l'éclat de la flamme.

Paris, ce 8 décembre 1819.

A. FRESNEL.

N° III (B).

EXPÉRIENCES FAITES À L'OBSERVATOIRE

SUR LA LUMIÈRE PRODUITE PAR LES BECS SIMPLES ET MULTIPLES[a].

[27 septembre 1819.]

Nous avons d'abord comparé deux mèches simples ayant, l'une... de diamètre, et l'autre... [20 millimètres]. Cette dernière est la plus généralement en usage, et nous l'appellerons en conséquence *mèche ordinaire*, pour la distinguer de l'autre, à laquelle nous donnerons le nom de *petite mèche*, lorsque nous ne voudrons pas répéter leurs dimensions.

Les deux mèches éclairaient également bien le carton, lorsqu'il était à $3^m,43$ de la petite et à $3^m,86$ de la mèche ordinaire. Les deux ombres nous paraissaient alors d'une intensité égale, mais de teintes sensiblement différentes, celle qui répondait à la petite mèche étant rougeâtre, et l'autre bleuâtre, par opposition. Il s'ensuit que la lumière de la petite mèche était plus blanche que celle de la mèche ordinaire.

D'après les distances indiquées ci-dessus, l'intensité de la lumière produite par la petite mèche était les $(\frac{3,43}{3,86})^2$, ou les 0,79, c'est-à-dire environ les $\frac{4}{5}$ [de la lumière produite par la mèche de calibre ordinaire]. Or la circonférence de la petite mèche est les[b].....

Nous avons comparé ensuite le bec ordinaire avec un bec double portant deux mèches concentriques. Celle de l'intérieur est précisément égale à celle du bec ordinaire, et la seconde a une circonférence double, en sorte qu'elles équivalent à trois mèches ordinaires, quant

---

[a] Cet appendice à la Note précédente sur les becs à mèches multiples est extrait du registre dans lequel Fresnel a consigné les résultats des expériences faites par lui, de concert avec MM. Arago et Mathieu, sur divers appareils d'éclairage, du 27 septembre 1819 au 1er septembre 1821.

[b] Chiffres laissés en blanc sur la minute.

N° III (B). au développement de leurs contours. La cheminée du bec double était semblable aux cheminées des lampes ordinaires et disposée de la même façon. Mais, soit qu'elle fût trop étranglée au-dessus du renflement, soit qu'une pareille forme ne puisse pas produire, avec un bec double, les mêmes effets qu'avec un bec simple, nous avons toujours remarqué dans la flamme extérieure une agitation très-prononcée.

Les deux lumières, reçues sur le même carton, nous paraissaient d'égale intensité, lorsqu'il était à $4^m,06$ du bec double et à $2^m,15$ du bec ordinaire.

Ainsi, en prenant toujours pour unité l'intensité du bec ordinaire, celle du bec double était égale à $\left(\frac{4,06}{2,15}\right)^2$ ou à 3,57.

Une autre observation a donné, pour les distances des deux becs au carton, toujours dans le cas d'ombres égales en intensité :

Bec double......... $4^m,13$
Bec ordinaire....... $2^m,21$

D'où résulte, pour l'intensité comparative de la lumière du bec double, $\left(\frac{4,13}{2,21}\right)^2$, ou 3,49.

La moyenne entre ces deux résultats est 3,53, c'est-à-dire environ $3\frac{1}{2}$.

Nous avons remarqué, à la fin de la séance, qu'en renversant la cheminée et en y faisant entrer le bec par le haut, on obtenait une lumière sensiblement plus vive et une flamme parfaitement tranquille, comme celle des becs simples.

Nota. Toutes nos expériences ont été faites avec des réservoirs pareils et dont on peut commodément élever le niveau à volonté. Nous avons eu soin de faire arriver l'huile dans les becs toujours en quantité surabondante. Nous nous servirons des mêmes appareils et nous amènerons toujours l'huile en surabondance dans les observations ultérieures [a].

[a] Nous avons cru devoir borner ici cet extrait, qui donne la date authentique des premières expériences d'Augustin Fresnel sur les appareils d'éclairage, avec quelques indications sur sa manière de procéder dans ses opérations photométriques.

IV.

MÉMOIRE,

NOTES ET CALCULS RELATIFS AUX PHARES CATOPTRIQUES.

N° IV (A).

SUR L'ÉCLAIRAGE DES PHARES[a].

[*Fragment.* — Avril 1820.]

1. Les phares étaient anciennement éclairés par des feux de bois ou de charbon de terre. On y substitua ensuite des lampes alimentées

[a] Dans ce fragment sans date il n'est question que de la théorie des *phares catoptriques*, en sorte qu'au premier abord on pourrait le croire antérieur aux précédents écrits. Mais les indications qu'il fournit sur les proportions les plus avantageuses à donner aux réverbères paraboliques ont avec la Note ci-après (D), adressée à Gambey, le 19 avril 1820, une connexité qui doit faire rapporter ces deux pièces à peu près à la même époque. Il ne faudrait pas d'ailleurs inférer de ces études que Fresnel eût pendant quelque temps écarté l'idée de son nouveau système d'éclairage pour revenir à l'ancien. On s'expliquera facilement cette marche en apparence rétrograde, si l'on considère, d'une part, les graves difficultés à résoudre pour passer de la conception à la complète exécution des appareils lenticulaires, et, d'un autre côté, l'impérieuse nécessité de satisfaire aux besoins les plus urgents de notre



N° IV (A). par l'huile, à cause de la facilité d'en entretenir la combustion et d'obtenir ainsi, pendant toute la durée de la nuit, une lumière d'une intensité uniforme. Mais ces lampes à mèches plates, à peu près semblables à celles des réverbères qui servent à l'éclairage des rues, ne donnaient qu'une lumière faible, dont on n'utilisait d'ailleurs qu'une partie peu considérable, au moyen des petits réflecteurs placés derrière les becs.

Il y a encore en France plusieurs phares éclairés de cette manière. Ce n'est que depuis la belle découverte d'Argand que l'éclairage des phares a éprouvé un perfectionnement notable, lorsque M. Teulère, inspecteur divisionnaire des ponts et chaussées, substitua aux anciennes lampes les lampes à double courant d'air, et aux anciens réflecteurs, de grands miroirs paraboliques de cuivre argenté, au foyer desquels il plaça les nouveaux becs.

2. C'est aussi à M. Teulère qu'on doit l'idée ingénieuse des feux tournants[a]. Dans ce système, au lieu de diriger les axes des réflecteurs de manière que les cônes lumineux qu'ils réfléchissent soient contigus et éclairent ainsi tout l'horizon en même temps, on en réunit plusieurs sur une même direction, en laissant des intervalles obscurs entre les angles illuminés par les différents groupes de réflecteurs, ainsi que

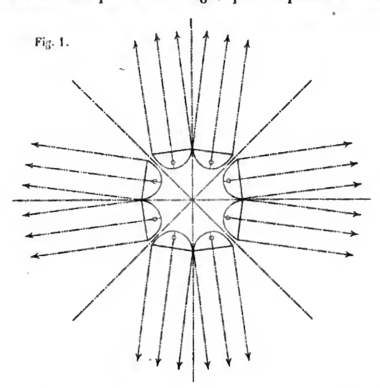
---

éclairage maritime. Ce fut sous la pression d'une telle nécessité que Fresnel dut s'occuper de la fabrication des appareils catoptriques et chercher à se rendre préalablement compte du rapport à établir entre la profondeur et l'ouverture des paraboloïdes. Les résultats de cette étude furent transmis à Gambey, qui soumissionna, en 1820, la fourniture de dix réverbères de 65 centimètres d'ouverture, de cuivre plaqué d'argent. Mais l'éminent artiste, ayant reconnu, après divers essais, que ce marché lui serait très-onéreux, en sollicita la résiliation. Il l'obtint d'autant plus facilement que la supériorité théorique et pratique du système lenticulaire fut bientôt pleinement reconnue, en sorte que l'application des réverbères à l'éclairage des phares ne pouvait plus être admise que comme mesure transitoire ou exceptionnelle.

[a] La priorité, quant à l'invention et à l'emploi des *feux tournants*, nous paraît appartenir à la Suède. (Voir le Rapport de Borda sur le phare tournant de Lemoyne, dans le recueil de l'Académie des sciences, année 1783.)

le représente la figure 1; c'est le mouvement de rotation imprimé au système et entretenu par une horloge, qui fait passer successivement N° IV (A).

Fig. 1.



tous les cônes lumineux devant l'œil du navigateur, d'où résulte pour lui une succession régulière d'*éclats* et d'*éclipses*.

Ce système présente deux grands avantages : 1° celui de permettre de réunir sur une même direction plusieurs réflecteurs, sans en augmenter le nombre, et de produire ainsi, avec la même dépense, des effets de lumière beaucoup plus grands; 2° celui d'empêcher le navigateur de confondre les phares avec toute autre espèce d'objets lumineux, et de les lui faire distinguer entre eux, en variant simplement l'intervalle de temps compris entre les milieux de deux éclats consécutifs.

DES FEUX TOURNANTS.

3. La durée absolue des éclats et des éclipses dépend à la fois des intervalles angulaires qu'ils occupent et de la vitesse du mouvement de rotation. On pourrait même ajouter qu'elle dépend aussi de l'inten-

N° IV (A). sité de la lumière; car les mêmes rayons placés vers les extrémités des cônes lumineux, qui n'étaient pas sensibles pour un spectateur éloigné, peuvent le devenir lorsque la vivacité de la lumière focale augmente, ou lorsqu'un plus grand nombre de cônes lumineux se superposent.

4. On peut prolonger la durée de l'éclat, sans augmenter l'amplitude du cône lumineux, en ralentissant seulement le mouvement de rotation; mais on augmente alors la durée de l'éclipse, et précisément dans la même proportion; en sorte que le nombre des chances favorables pour apercevoir le phare reste le même. Pour les multiplier, il faut nécessairement augmenter le rapport de la durée des éclats à celle des éclipses, en élargissant les angles illuminés ou en en augmentant le nombre.

5. Lorsque le nombre total des réflecteurs reste le même, on ne peut augmenter celui des angles illuminés qu'en les subdivisant en groupes plus petits, et dont l'effet diminue d'intensité dans la même proportion. On peut aussi élargir les angles illuminés en faisant diverger plus ou moins les axes des réflecteurs d'un même groupe, au lieu de les placer dans des directions exactement parallèles; mais la diminution d'intensité de lumière, dans ce cas, est encore proportionnelle à l'accroissement de l'amplitude de l'angle éclairé. Ainsi, de quelque manière que l'on combine les directions des réflecteurs, on n'augmente la vivacité de l'éclat qu'aux dépens de sa durée, et sa durée qu'aux dépens de sa vivacité. Ce sont comme les deux facteurs d'un produit constant, dont l'un diminue toujours dans le même rapport que l'autre augmente.

6. C'est ce produit de la durée de l'éclat par l'intensité de sa lumière que nous regarderons comme la mesure de l'effet utile des réflecteurs, dans la recherche des dimensions les plus avantageuses à leur donner, puisque l'on peut toujours, par une distribution convenable des réflecteurs, augmenter à volonté la durée de la lumière aux dépens de sa vivacité ou sa vivacité aux dépens de sa durée, tandis que leur produit reste constant. Ainsi la forme des réflecteurs qui rendra ce produit le plus grand possible sera en même temps celle qui présentera les éléments les plus avantageux à l'éclairage des phares.

On voit, à l'aide de ces considérations, que la question de la meilleure forme à donner aux réflecteurs devient indépendante de l'importance relative de la durée et de la vivacité des éclats, question qui ne peut être décidée, pour chaque phare en particulier, que d'après les besoins de la navigation. N° IV (A).

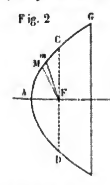
1er PROBLÈME.

La surface du miroir parabolique étant donnée, déterminer le degré de profondeur ou de courbure qui produira le plus grand effet utile.

7. Je remarquerai d'abord que les miroirs métalliques réfléchissent, à très-peu près, la même quantité de lumière sous toutes les inclinaisons, depuis l'incidence perpendiculaire jusqu'aux incidences les plus obliques, et je supposerai que le degré d'obliquité ne fait point varier l'intensité de la lumière réfléchie.

Je supposerai aussi que tous les points de la flamme envoient des rayons lumineux d'égale intensité dans tous les sens, en raison de sa transparence presque parfaite, et en faisant abstraction de la petite ombre portée par le bec de la lampe.

Ces deux hypothèses, sans lesquelles le calcul serait impraticable, s'éloignent assez peu de la vérité pour être admises dans une évaluation approximative des effets des réflecteurs, surtout en comparant des formes qui ne peuvent pas différer beaucoup, et pour lesquelles, en conséquence, les petites quantités que nous négligeons doivent être à peu près les mêmes.



Cela posé, soit F (fig. 2) le foyer d'un miroir parabolique, M un point quelconque de la parabole génératrice DAMG; je représente par s l'angle AFM compté à partir du sommet A, et par ds la différentielle MFm de cet angle. La partie de la sphère lumineuse engendrée par l'angle MFm tournant autour de l'axe AX sera égale à $2\pi \sin s\, ds$, et cette expression représentera ainsi la somme des rayons émanés du point F qui tombent sur la partie de la surface du miroir

N° IV (A). engendrée par le petit arc Mm. Si les rayons que reçoit cette surface partaient tous du foyer, ils seraient tous réfléchis parallèlement à l'axe, et ne formeraient ainsi qu'un cylindre lumineux, dont la base serait égale à l'ouverture du réflecteur. Mais l'objet éclairant ayant des dimensions sensibles, il s'ensuit que les rayons qui en émanent s'écartent plus ou moins de la direction du rayon vecteur, et cet écart donne précisément la mesure de l'angle que les rayons réfléchis font avec l'axe du paraboloïde, c'est-à-dire la mesure de leur *divergence*. Je dis *divergence*, même pour les rayons réfléchis qui se rapprochent de l'axe; parce que, après l'avoir coupé, ils s'en éloignent, et qu'il n'y a plus ainsi que des rayons divergents, à des distances un peu considérables du phare, telles que celles pour lesquelles nous cherchons à déterminer l'effet des réflecteurs. Or la divergence des rayons partis des différents points d'un élément de l'objet éclairant, et tombant sur le même point M du miroir, est sensiblement en raison inverse de sa distance au foyer, dont nous supposons que tous les éléments de l'objet éclairant sont peu éloignés. Mais il faut distinguer deux sens dans la divergence des rayons réfléchis, le sens horizontal et le sens vertical; et c'est seulement dans le sens vertical que cette divergence nuit à l'effet utile; car, s'il n'y avait de divergence que dans le sens horizontal, la somme des rayons reçus par l'œil du spectateur pendant la rotation du phare serait toujours la même. L'effet utile est donc en raison inverse seulement de la première puissance de la divergence et, par conséquent, proportionnel au rayon vecteur FM, que je représente par r. Ainsi l'effet utile produit par les rayons incidents compris dans l'élément de la sphère lumineuse $2\pi \sin s\, ds$ sera proportionnel à $2\pi r \sin s\, ds$.

8. La même expression représenterait l'effet utile produit par les rayons émanés de tout autre élément de l'objet éclairant, et tombant sur la même partie de la surface du paraboloïde engendrée par le petit arc Mm, et l'on peut en conséquence la prendre pour la mesure de l'effet utile produit par tous les rayons réfléchis sur cette partie du miroir. Pour avoir l'effet utile de la totalité des rayons réfléchis par le

miroir parabolique, il faut donc intégrer cette expression dans toute l'étendue de sa surface, et, en égalant à zéro le coefficient différentiel de l'intégrale pris par rapport à s, on obtient l'équation qui donne la valeur extrême de s, répondant au maximum de l'effet utile.

9. Comme le paramètre est ici une quantité variable, il faut le différentier aussi par rapport à s, après avoir tiré sa valeur en fonction de s de l'équation qui exprime que la surface du paraboloïde est égale à une quantité constante. On arrive de cette manière à une équation transcendante logarithmique, indépendante de la constante. comme on devait s'y attendre, et qui, résolue numériquement, donne, pour valeur de s très-approchée, 107° 59′ 4″.

10. Les réflecteurs construits d'après ce résultat seraient encore plus profonds que ceux qui ont servi aux opérations géodésiques de la méridienne, dans lesquels s est égal à 98° 43′ environ; mais ils seraient moins profonds que ceux qui sont généralement adoptés dans les phares d'Angleterre, pour lesquels s est égal à 118° 22′.

11. Comme la difficulté de placer un grand nombre de réflecteurs dans une petite cage tient beaucoup plus à la largeur de ces réflecteurs qu'à leur profondeur, on pourrait dans ce cas se demander quelle est, pour une largeur donnée des réflecteurs, la profondeur la plus avantageuse. Alors ce ne serait plus la surface du réflecteur qu'il faudrait égaler à une constante, mais le diamètre de son ouverture. En tirant de cette équation la valeur du paramètre en fonction de s, et faisant d'ailleurs le calcul comme nous venons de l'indiquer, on trouve, pour la valeur de s répondant au maximum de l'effet utile, $s = 126° 24' 52''$.

12. Un réflecteur qui aurait la même ouverture, mais dans lequel la valeur extrême de s serait égale à 107° 59′ 4″, comme ci-dessus, ne produirait que $\frac{1}{11}$ de moins d'effet utile, et présenterait une économie de $\frac{1}{7}$ environ dans sa superficie, avec une diminution pareille dans son poids; et sa profondeur ne serait guère que les $\frac{2}{3}$ de celle de l'autre réflecteur. Il résulterait sans doute de cette moindre courbure une plus grande facilité d'exécution, et par conséquent une nouvelle économie dans la façon, en sus de celle de $\frac{1}{7}$ provenant de la

N° IV (A). moindre étendue de la superficie. On voit donc qu'à moins d'être obligé de produire le maximum d'effet que comporteraient les dimensions d'une cage, on doit encore préférer la première forme de réflecteurs.

La petite différence de $\frac{1}{23}$ dans l'effet utile, répondant à une variation si notable de la valeur de s, fait voir aussi qu'il ne faut pas attacher trop d'importance dans la pratique à ce que s soit exactement égal à l'angle donné par la théorie, et qu'il suffit qu'il n'en diffère pas trop. C'est au reste une propriété générale et caractéristique des *maxima* et *minima* que, dans leur voisinage, des changements sensibles de la variable n'en apportent pas de sensibles dans la fonction; et c'est d'après cette condition même qu'on établit l'équation qui sert à les déterminer. . . . .

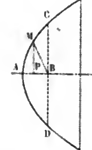
N° IV (A).

APPENDICE[a].

CALCUL DU DEGRÉ DE PROFONDEUR LE PLUS AVANTAGEUX À DONNER À UN RÉFLECTEUR PARABOLIQUE.

[.....Avril 1820.]

AP $= x$; MP $= y$; ABM $= s$; MB $= r$; CD $= p$.



$$y^2 = px; \qquad 2ydy = pdx; \qquad dx = \frac{2ydy}{p}.$$

$$d\cdot arc = \sqrt{dy^2 + dx^2} = \sqrt{dy^2 + \frac{4y^2}{p^2}\cdot dy^2} = \frac{dy}{p}\sqrt{p^2+4y^2}.$$

Circonférence (rayon $=$ MP) $= 2\pi y$.

Ainsi l'anneau différentiel $= \frac{2\pi}{p} ydy\sqrt{p^2+4y^2}$,

dont l'intégrale est

$$\frac{\pi}{6p}(p^2+4y^2)^{\frac{3}{2}} + C.$$

Or l'intégrale doit être nulle quand $y = 0$; ainsi

$$\frac{\pi}{6p}(p^2)^{\frac{3}{2}} + C = 0,$$

---

[a] Les calculs que nous reproduisons ici ont fourni les résultats consignés dans le fragment précédent, ainsi que dans la Note ci-après (D), adressée par Fresnel à Gambey, le 19 avril 1820, sur les meilleures proportions à donner aux réflecteurs paraboliques.

Ces calculs figurent en tête d'un carnet où ils sont suivis d'une série de notes relatives aux essais comparatifs de grands réverbères paraboliques, à la construction d'une lentille polyzonale, etc.

N° IV (A). d'où

$$C = -\frac{1}{6}\pi p^2.$$

La surface du paraboloïde de révolution est donc égale à

$$\frac{\pi}{6p}(p^2+4y^2)^{\frac{3}{2}} - \frac{1}{6}\pi p^2 = a^2.$$

Je supposerai cette surface constante et je chercherai quel est le degré de courbure le plus avantageux pour le bon emploi de la lumière émise du foyer.

Le bon emploi d'un cône lumineux infiniment mince qui tombe sur la surface du miroir est proportionnel à la distance r de cet élément de la surface au foyer; à la vérité, la divergence des rayons partis des différents points de l'objet éclairant est en raison inverse du carré de cette distance; mais la perte de lumière ne doit être considérée comme proportionnelle qu'à la divergence dans un seul sens, dans le sens vertical.

Le nombre de rayons compris dans le cône lumineux différentiel est égal à $2\pi.\sin s\, ds$, qu'il faut multiplier par r pour avoir la mesure de l'effet utile produit; ce qui donne $2\pi r \sin s\, ds$.

C'est cette expression qu'il faut intégrer dans toute l'étendue du réflecteur pour avoir la mesure de la quantité de rayons utilisés.

On a :

$$y = r\sin s; \qquad \text{et} \qquad x = \frac{1}{4}p - r\cos s;$$

par conséquent $y^2 = px$ devient

$$r^2\sin^2 s = p\left(\frac{1}{4}p - r\cos s\right) = \frac{1}{4}p^2 - pr\cos s,$$

ou

$$r^2 + r\cdot\frac{p\cos s}{\sin^2 s} - \frac{1}{4}\frac{p^2}{\sin^2 s} = 0;$$

d'où

$$r = -\frac{1}{2}\frac{p\cos s}{\sin^2 s} \pm \sqrt{\frac{1}{4}\frac{p^2\cos^2 s}{\sin^4 s} + \frac{1}{4}\frac{p^2}{\sin^2 s}} = -\frac{1}{2}\frac{p\cos s}{\sin^2 s} \pm \frac{1}{2}\frac{p}{\sin^2 s}\sqrt{\cos^2 s + \sin^2 s}$$

$$= -\frac{1}{2}\frac{p\cos s}{\sin^2 s} \pm \frac{1}{2}\frac{p}{\sin^2 s} \text{ (c'est le signe + qu'il faut prendre).}$$

L'effet utile est proportionnel à $\int 2\pi r \sin s\, ds$, ou à $\int r \sin s\, ds$; mais N° IV (A).

$$r = \frac{1}{2}p\,\frac{1-\cos s}{\sin^2 s} = \frac{1}{2}p\,\frac{1-\cos s}{1-\cos^2 s} = \frac{1}{2}p\,\frac{1}{1+\cos s} = \frac{p}{4\cos^2\frac{1}{2}s}\text{ (1)};$$

par conséquent l'intégrale devient :

$$\int \frac{p \sin s\, ds}{4\cos^2\frac{1}{2}s} = \int \frac{2p \sin\frac{1}{2}s \cos\frac{1}{2}s\, ds}{4\cos^2\frac{1}{2}s} = \int \frac{p\sin(\frac{1}{2}s)\cdot\frac{1}{2}ds}{\cos(\frac{1}{2}s)} = -p\,\mathrm{l}\left(\cos\frac{1}{2}s\right) + \mathrm{C}.$$

Mais la constante doit être nulle, puisque l'intégrale doit l'être lorsque $s=0$, et qu'alors le premier terme $p\,\mathrm{l}\left(\cos\frac{1}{2}s\right)$ devient égal à zéro. Donc la mesure de l'effet utile est

$$-p\cdot\mathrm{l}\left(\cos\frac{1}{2}s\right).$$

C'est de cette quantité qu'il faut chercher la valeur *maxima* en supposant constante la surface a^2 du réflecteur.

Nous avons

$$a^2 = \frac{\pi}{6p}(p^2+4y^2)^{\frac{3}{2}} - \frac{1}{6}\pi p^2;$$

mais

$$y = \frac{1}{2}p\,\frac{\sin\frac{1}{2}s}{\cos\frac{1}{2}s},$$

et par conséquent

$$y^2 = \frac{1}{4}p^2\,\frac{\sin^2\frac{1}{2}s}{\cos^2\frac{1}{2}s}.$$

Substituant, on a :

$$a^2 = \frac{\pi}{6p}\left(p^2 + p^2\cdot\frac{\sin^2\frac{1}{2}s}{\cos^2\frac{1}{2}s}\right)^{\frac{3}{2}} - \frac{1}{6}\pi p^2 = \frac{\pi}{6p}\cdot p^3\left(\frac{\cos^2\frac{1}{2}s+\sin^2\frac{1}{2}s}{\cos^2\frac{1}{2}s}\right)^{\frac{3}{2}} - \frac{1}{6}\pi p^2 = \frac{\pi p^2}{6}\left(\frac{1}{\cos^3\frac{1}{2}s}-1\right):$$

d'où

$$p^2 = \frac{6a^2}{\pi}\left(\frac{1}{\frac{1}{\cos^3\frac{1}{2}s}-1}\right).$$

(1) $\cos s = \cos^2\frac{1}{2}s - \sin^2\frac{1}{2}s = 2\cos^2\frac{1}{2}s - 1$; donc $1+\cos s = 2\cos^2\frac{1}{2}s$.
[*Note marginale.*]

Digitized by Google

N° IV (A). Je fais, pour simplifier,

$$\frac{1}{\cos\frac{1}{3}s}=x;$$

alors j'ai

$$p^2=\frac{6a^2}{\pi}\left(\frac{1}{x^3-1}\right);$$

et l'expression de l'effet utile devient

$$-p\,l\left(\frac{1}{x}\right) \qquad \text{ou} \qquad p\,l(x).$$

Chercher le maximum de cette quantité, c'est chercher le maximum de son carré $p^2 l^2(x)$. Pour cela il faut d'abord substituer, à la place de p^2, sa valeur

$$\frac{6a^2}{\pi}\left(\frac{1}{x^3-1}\right);$$

ce qui donne

$$\frac{6a^2}{\pi}\cdot\frac{l^2 x}{x^3-1}.$$

Supprimant le facteur constant $\frac{6a^2}{\pi}$, on a $\frac{l^2 x}{x^3-1}$, dont il faut maintenant égaler à zéro le coefficient différentiel, ce qui donne :

$$0=\frac{2lx\cdot\frac{1}{x}(x^3-1)-l^2x\cdot 3x^2}{(x^3-1)^2},$$

ou, en divisant tout par $\frac{lx}{(x^3-1)^2}$,

$$0=\frac{2(x^3-1)}{x}-3x^2lx,$$

ou

$$0=\frac{2(x^3-1)}{x}-x^2l(x^3);$$

d'où

$$l(x^3)=\frac{2(x^3-1)}{x^3}.$$

Je représente, pour simplifier, x^3 par z, et j'ai

$$lz = \frac{2(z-1)}{z}, \quad \text{ou} \quad lz = 2 - \frac{2}{z},$$

pour l'équation qui doit servir à déterminer le maximum et le minimum de l'effet utile. On peut la mettre sous la forme

$$1 = \frac{1}{z} + \frac{1}{2}\, lz,$$

qui est celle sous laquelle j'ai reconnu, en consultant les tables, que la valeur de z approchait beaucoup de 5.

1 satisfait aussi à l'équation, mais correspond évidemment à un minimum de l'effet utile.

Soit n la valeur approchée de z, et δ la petite quantité qu'il faut y ajouter pour avoir la valeur exacte de z; nous aurons $z = n + \delta$. Or, en mettant en nombres l'équation logarithmique

$$lz = \frac{2(z-1)}{z},$$

on a

$$z = e^{\frac{2(z-1)}{z}} = e^{2-\frac{2}{z}} = e^2 \cdot e^{-\frac{2}{z}}.$$

Or

$$-\frac{2}{z} = -\frac{2}{n+\delta} = -2\left(\frac{1}{n} - \frac{\delta}{n^2} + \text{etc.}\right)$$

Comme δ est supposé très-petit, on peut s'arrêter à sa première puissance dans une première approximation, ce qui donne :

$$-\frac{2}{z} = -\frac{2}{n} \overset{(a)}{-} \frac{2\delta}{n^2};$$

par conséquent

$$e^{-\frac{2}{z}} = e^{-\frac{2}{n} - \frac{2\delta}{n^2}} = e^{-\frac{2}{n}} \cdot e^{-\frac{2\delta}{n^2}},$$

(a) Il y a ici une erreur de signe qui explique l'inexactitude du résultat final. (Voyez la note de la page 45.)

Nº IV (A). et l'équation devient

$$z = e^2 \cdot e^{-\frac{2}{n}} \cdot e^{-\frac{2\delta}{n^2}};$$

mais on a, en général,

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2} + \text{etc.}$$

et, par conséquent,

$$e^{-\frac{2\delta}{n^2}} = 1 - \frac{2\delta}{n^2},$$

en s'arrêtant à la première puissance de δ. Substituant dans l'équation, on a z ou

$$n + \delta = e^{2-\frac{2}{n}}\left(1 - \frac{2\delta}{n^2}\right) = e^{\frac{2n-2}{n}} - \frac{2\delta \cdot e^{\frac{2n-2}{n}}}{n^2};$$

$$\delta\left(1 + \frac{2e^{\frac{2n-2}{n}}}{n^2}\right) = e^{\frac{2n-2}{n}} - n; \quad \delta = \frac{e^{\frac{2n-2}{n}} - n}{1 + \frac{2e^{\frac{2n-2}{n}}}{n^2}} = n^2 \cdot \frac{e^{\frac{2n-2}{n}} - n}{2e^{\frac{2n-2}{n}} + n^2}.$$

En substituant, à la place de n, 5, première valeur approchée, on a, pour la première valeur de δ,

$$\delta = 25 \cdot \frac{e^{\frac{8}{5}} - 5}{2e^{\frac{8}{5}} + 25}.$$

Or

$$e = 2,71828.$$

Substituant, on trouve, pour première valeur de δ, $-0,03364$, et ainsi, pour seconde valeur approchée de z, $4,96636$. Substituant, j'ai trouvé ensuite, pour seconde valeur de δ, $-0,019096$, et par conséquent, pour troisième valeur approchée de z, $4,9473$. N° IV (A).

On voit que la formule ne conduit pas à un résultat exact aussi promptement qu'on serait d'abord tenté de le croire. Il y a sans doute quelque erreur dans le calcul de cette formule[a].

CALCUL D'UNE NOUVELLE FORMULE D'APPROXIMATION POUR RÉSOUDRE L'ÉQUATION

$$lz = 2 - \frac{2}{z}.$$

Je fais $z = \frac{1}{v}$, $v = \frac{1}{z}$.

$$l\frac{1}{v}, \quad \text{ou} \quad -lv = 2 - 2v, \quad \text{ou} \quad lv = 2v - 2.$$

Prenant les nombres

$$v = e^{2v-2} = \frac{e^{2v}}{e^2} \quad \text{ou} \quad ve^2 = e^{2v};$$

faisant $v = n + \delta$, on a

$$ne^2 + \delta e^2 = e^{2n+2\delta} = e^{2n} \cdot e^{2\delta};$$

---

[a] Nous venons d'indiquer l'origine de cette erreur. Elle provient de ce que le signe $-$ a été mis pour le signe $+$ au second terme de l'équation $-\frac{2}{z} = -\frac{2}{n} + \frac{2\delta}{n^2}$. En reprenant le calcul avec cette correction nous avons trouvé $v = 107° 59' 18''$, au lieu de $107° 59' 4''$, valeur à laquelle l'auteur arrive par le calcul suivant.

N° IV (A). mais on a $e^{2\delta} = 1 + 2\delta$, en se bornant à la première puissance de δ; on a donc

$$ne^2 + \delta e^2 = e^{2n} + \delta \cdot 2e^{2n}, \quad \text{ou} \quad \delta\left(e^2 - 2e^{2n}\right) = e^{2n} - ne^2;$$

$$\delta = \frac{e^{2n} - ne^2}{e^2 - 2e^{2n}} = \frac{e^{2n-2} - n}{1 - 2e^{2n-2}} = \frac{n - e^{2n-2}}{2e^{2n-2} - 1}.$$

$$lv = 2v - 2; \qquad v = n + \delta; \qquad \delta = \frac{n - e^{2n-2}}{2e^{2n-2} - 1} = \frac{ne^{2-2n} - 1}{2 - e^{2-2n}}.$$

Je fais d'abord $n = \frac{1}{5}$; $2n = \frac{2}{5}$, et $2 - 2n = \frac{8}{5}$;

$$\delta = \frac{\frac{1}{5}e^{\frac{8}{5}} - 1}{2 - e^{\frac{8}{5}}} = \frac{e^{\frac{8}{5}} - 5}{10 - 5e^{\frac{8}{5}}} = + \frac{0{,}04697}{14{,}76515} = 0{,}0031814;$$

$$n' = 0{,}2031814.$$

$$v = n' + \delta'; \quad n' = 0{,}20318; \quad 2n' = 0{,}40636;$$

$$2 - 2n' = 1{,}59364.$$

On trouve alors

$$\delta' = \frac{0{,}0000294}{2{,}92163} = + 0{,}0000100629.$$

Le calcul du numérateur n'ayant été poussé que jusqu'au troisième chiffre significatif de δ', il est inutile d'en prendre plus de quatre dans sa valeur, qui est ainsi 0,00001006, et par conséquent celle de n'' est 0,20318 + 0,00001006 = 0,20319006, valeur très-approchée de v, et à laquelle on peut s'arrêter.

Nous avons par hypothèse

$$z = \frac{1}{v}, \quad x^3 = z, \quad \text{et enfin} \quad \frac{1}{\cos\frac{1}{2}s} = x.$$

Par conséquent N° IV (A).

$$\cos\frac{1}{2}s = \frac{1}{x} = \frac{1}{\sqrt[3]{z}} = \sqrt[3]{v}.$$

Il faut donc extraire la racine cubique du nombre que nous venons de trouver, pour avoir $\cos\frac{1}{2}s$, ce qui donne pour son logarithme 9,7693008, qui répond à un arc de 53° 59′ 32″; par conséquent la valeur de s qui correspond au maximum de l'effet utile est 107° 59′ 4″.

CALCUL COMPARATIF DE L'EFFET UTILE POUR LES VALEURS SUIVANTES DE s :

90°, 107° 59′ 4″ et 120°.

La mesure de l'effet utile est $\frac{l^2 x}{x^3 - 1}$, dans laquelle expression x représente $\frac{1}{\cos\frac{1}{2}s}$, et x^3 par conséquent $\frac{1}{\cos^3\frac{1}{2}s}$.

Supposons d'abord $s = 107° 59′ 4″$; $\frac{1}{2}s = 53° 59′ 32″$:

$$l\cos^3\frac{1}{2}s = \bar{1},3079024,$$

et par conséquent

$$lx^3 = 0,6920976, \text{ qui répond à } 4,921501 = x^3;$$

donc

$$x^3 - 1 = 3,9215.$$

A la place de $l^2 x$ nous prendrons $\log^2 x$, qui n'en diffère que par le facteur constant $\log^2 e$ [a] :

$$\log\cos\frac{1}{2}s = \bar{1},7693008;$$

donc

$$\log x = 0,2306992;$$

---

[a] L'auteur a bâtonné sur son carnet les mots suivants :

En changeant le logarithme népérien en logarithme tabulaire par la formule $\log x = \log e . lx$.

N° IV (A). or

$$\log 0{,}2306992 = \bar{1}{,}3630461,$$

et par conséquent

$$2 \log . \log x = \bar{2}{,}7260922;$$

dont il faut retrancher

$$\log(x^3 - 1) \quad \text{ou} \quad \log 3{,}9215, \quad \text{qui est} \quad 0{,}5934522;$$

ce qui donne

$$\bar{2}{,}1326400, \quad \text{qui répond à} \quad 0{,}0135719.$$

Ainsi la valeur *maxima* de l'effet utile est représentée par 0,0135719.

$$\text{Effet utile} = \frac{\log^2 x}{x^3 - 1}; \qquad x = \frac{1}{\cos \frac{1}{2} s}.$$

Supposons maintenant

$$s = 90^\circ; \quad \tfrac{1}{2} s = 45^\circ; \quad \cos \tfrac{1}{2} s = \sqrt{\tfrac{1}{2}};$$

et par conséquent

$$x = \sqrt{2}; \quad x^3 = 2\sqrt{2}.$$

Ainsi l'effet utile est alors représenté par

$$\frac{\log^2 \sqrt{2}}{2\sqrt{2} - 1},$$

qui est égal à

$$\frac{(0{,}150515)^2}{1{,}82843} = 0{,}0123903.$$

La valeur *maxima* de l'effet utile 0,0135719 est plus forte d'environ $\frac{1}{10}$.

Supposons enfin N° IV (A).

$$s = 120^\circ;\quad \tfrac{1}{2}s = 60^\circ;\quad \cos\tfrac{1}{2}s = \cos 60^\circ = \tfrac{1}{2};\quad x = \frac{1}{\cos\frac{1}{2}s} = 2.$$

Ainsi l'effet utile est égal à

$$\frac{\log^2 2}{2^3 - 1} = \frac{\log^2 2}{7} = \frac{(0,30103)^2}{7} = 0,0129456.$$

La valeur *maxima* n'excède guère celle-ci que de $\frac{1}{10}$.

1er problème.............	$s = 107^\circ\ 59'\ 4''$
2e problème..............	$s = 126\ \ 24\ \ 52$
	$234^\circ\ 23'\ 56''$.
Moyenne.....	$117^\circ\ 11'\ 58''$ ou $117^\circ\ 12'$.

2e PROBLÈME.

Déterminer la profondeur la plus avantageuse d'un réflecteur dont l'ouverture est donnée.

Nous avons trouvé, pour l'expression générale de l'effet utile,

$$-p\,\mathrm{l}\left(\cos\tfrac{1}{2}s\right),$$

et, pour la valeur de y en fonction de s,

$$y = \frac{1}{2}\frac{p\sin\frac{1}{2}s}{\cos\frac{1}{2}s}.$$

Si l'on représente par λ le diamètre constant de l'ouverture du paraboloïde, on aura

$$\lambda = \frac{p\sin\frac{1}{2}s}{\cos\frac{1}{2}s};$$

N° IV (A). d'où

$$p = \frac{\lambda \cdot \cos \frac{1}{2} s}{\sin \frac{1}{2} s};$$

substituant dans la valeur de l'effet utile, elle devient

$$-\frac{\lambda \cdot \cos \frac{1}{2} s}{\sin \frac{1}{2} s} \cdot \mathrm{l}\left(\cos \frac{1}{2} s\right);$$

ou, supprimant le facteur constant λ,

$$-\cot \frac{1}{2} s \cdot \mathrm{l}\left(\cos \frac{1}{2} s\right).$$

Pour avoir l'équation qui donne les valeurs de s qui correspondent aux *maxima* et aux *minima*, il faut égaler à zéro le coefficient différentiel de cette expression :

$$0 = \frac{\frac{1}{2}}{\sin^2 \frac{1}{2} s} \cdot \mathrm{l}\left(\cos \frac{1}{2} s\right) + \frac{\frac{1}{2} \cot \frac{1}{2} s \sin \frac{1}{2} s}{\cos \frac{1}{2} s},$$

ou

$$0 = \frac{\mathrm{l}(\cos \frac{1}{2} s)}{\sin^2 \frac{1}{2} s} + 1;$$

ou

$$-\mathrm{l}\left(\cos \frac{1}{2} s\right) = \sin^2 \frac{1}{2} s,$$

ou

$$-\mathrm{l}\left(\cos \frac{1}{2} s\right) = 1 - \cos^2 \frac{1}{2} s;$$

ou enfin, en représentant $\cos \frac{1}{2} s$ par z, on a :

$$-\mathrm{l} z = 1 - z^2,$$

ou, en mettant en nombres,

$$z = e^{z^2 - 1}.$$

Je fais $z = n + \delta$, n étant une valeur approchée de z, et j'ai :

$$n + \delta = e^{n+\delta)^2 - 1}; \qquad (n + \delta)^2 = n^2 + 2n\delta + \delta^2;$$

on peut négliger δ^2, δ étant supposé très-petit, ce qui fait

$$(n + \delta)^2 = n^2 + 2n\delta.$$

Ainsi N° IV (A).

$$n+\delta=e^{n^2-1+2n\delta}; \quad \text{ou} \quad n+\delta=e^{n^2-1}.e^{2n\delta};$$

mais $e^{2n\delta}=1+2n\delta$, en négligeant les puissances supérieures de δ; on a donc :

$$n+\delta=e^{n^2-1}(1+2n\delta)=e^{n^2-1}+e^{n^2-1}.2n\delta;$$

$$\delta=\frac{e^{n^2-1}-n}{1-2ne^{n^2-1}}; \quad \text{ou} \quad \delta=\frac{1-ne^{1-n^2}}{e^{1-n^2}-2n}.$$

J'ai trouvé, pour première valeur très-approchée de z :

$$n=0,45; \quad 1-n^2=0,7975; \quad e=2,71828.$$

Substituant, on a, pour première valeur de δ,

$$\delta=\frac{0,001008}{1,31998}=0,00076365,$$

et par conséquent

$$z=0,45076365=\cos\tfrac{1}{2}s;$$

dont le logarithme est 9,6539484, qui correspond à 63° 12′ 26″. Telle est la valeur de $\frac{1}{2}s$ correspondant au maximum d'effet utile, et par conséquent celle de s est

$$s=126° \; 24' \; 52''.$$

Supposons d'abord

$$s=120°; \quad \tfrac{1}{2}s=60°; \quad \cos\tfrac{1}{2}s=\tfrac{1}{2}.$$

L'expression de l'effet utile est

$$-\cot\tfrac{1}{2}s.\,l(\cos\tfrac{1}{2}s);$$

$$\cot\tfrac{1}{2}s=\sqrt{\tfrac{1}{3}}.$$

N° IV (A). Ainsi l'expression de l'effet utile devient

$$-\sqrt{\tfrac{1}{3}}\cdot\log\tfrac{1}{2};$$

en substituant les logarithmes ordinaires aux logarithmes népériens qui leur sont proportionnels, ce qui donne :

$$0{,}17380.$$

Supposons

$$s = 135^\circ;\quad \tfrac{1}{2}s = 67^\circ\,30'.$$

Substituant dans l'expression

$$-\cot\tfrac{1}{2}s.\log\left(\cos\tfrac{1}{2}s\right),$$

on trouve

$$0{,}172793.$$

Dans le cas du maximum on a :

$$\tfrac{1}{2}s = 63^\circ\,12'\,26'' \quad \text{et} \quad \log\cos\tfrac{1}{2}s = -0{,}3460516,$$

et substituant dans l'expression

$$-\cot\tfrac{1}{2}s.\log\left(\cos\tfrac{1}{2}s\right),$$

on trouve

$$0{,}174749$$

pour la valeur *maxima* de l'effet utile.

On voit qu'elle ne diffère guère que de $\frac{1}{104}$ de celle qui répond à $s = 120^\circ$; en sorte que, dans la pratique, il faudrait peut-être préférer cette valeur de s, qui donnerait un réflecteur d'une profondeur et d'une surface sensiblement moindres, et produirait à très-peu près le même effet.

L'équation des *maxima* et *minima*, $-\mathrm{l}z = 1 - z^2$, peut être satisfaite N° IV (A).
par $z = 1$; mais cette valeur de z ou de $\cos\frac{1}{2}s$, qui donnerait $s = 0$, et par conséquent une profondeur indéfinie pour le réflecteur, répond à un minimum de l'expression $-\cot\frac{1}{2}s.\mathrm{l}(\cos\frac{1}{2}s)$, comme on pourrait s'en convaincre en calculant ses coefficients différentiels.

On trouve d'abord, pour le coefficient différentiel du 1er ordre,

$$\frac{1}{2}\frac{\mathrm{l}(\cos\frac{1}{2}s)}{\sin^2\frac{1}{2}s} + \frac{1}{2},$$

et en différentiant une seconde fois :

$$-\frac{1}{4}\frac{1}{\cos\frac{1}{2}s\sin\frac{1}{2}s} - \frac{1}{4}\frac{\cos\frac{1}{2}s.\mathrm{l}(\cos\frac{1}{2}s)}{\sin^3\frac{1}{2}s};$$

mais, d'après l'équation des *maxima* et *minima*, on a :

$$\frac{\mathrm{l}(\cos\frac{1}{2}s)}{\sin^2\frac{1}{2}s} = -1.$$

Substituant, on trouve

$$-\frac{1}{4}\frac{1}{\cos\frac{1}{2}s\sin\frac{1}{2}s} + \frac{1}{4}\frac{\cos\frac{1}{2}s}{\sin\frac{1}{2}s} = \frac{1}{4}\left(\frac{\cos^2\frac{1}{2}s - 1}{\sin\frac{1}{2}s\cos\frac{1}{2}s}\right) = -\frac{1}{4}\frac{\sin^2\frac{1}{2}s}{\sin\frac{1}{2}s\cos\frac{1}{2}s} = -\frac{1}{4}\frac{\sin\frac{1}{2}s}{\cos\frac{1}{2}s}$$

$$= -\frac{1}{4}\operatorname{tang}\frac{1}{2}s,$$

quantité négative, lorsque $\frac{1}{2}s = 63^\circ\,12'\,26''$.

Ainsi cette valeur correspond à un maximum, comme nous nous en étions déjà assuré par des calculs numériques.

Mais quand $s = 0$, $\operatorname{tang}\frac{1}{2}s$ devient aussi zéro, et le coefficient différentiel du 2e ordre étant nul, cette valeur de s ne répondrait plus à un minimum, analytiquement parlant, à moins que le coefficient différentiel du 3e ordre ne fût aussi égal à zéro.

Sans suivre ces calculs, qui sont un peu longs, on peut reconnaître que l'expression $-\cot\frac{1}{2}s.\,\mathrm{l}\left(\cos\frac{1}{2}s\right)$ de l'effet utile devient nulle quand $s = 0$.

N° IV (A). Elle peut se mettre sous la forme

$$-\frac{\cos\frac{1}{2}s.\mathrm{l}(\cos\frac{1}{2}s)}{\sin\frac{1}{2}s},$$

fraction dont le numérateur et le dénominateur deviennent égaux à zéro quand $s=0$. Pour en déterminer la valeur répondant à $s=0$, il faut différentier ses deux termes, ce qui donne :

$$+\frac{\frac{1}{2}\sin\frac{1}{2}s.\mathrm{l}(\cos\frac{1}{2}s)+\frac{1}{2}\cos\frac{1}{2}s.\frac{\sin\frac{1}{2}s}{\cos\frac{1}{2}s}}{\frac{1}{2}\cos\frac{1}{2}s}=+\frac{\sin\frac{1}{2}s.\mathrm{l}(\cos\frac{1}{2}s)+\sin\frac{1}{2}s}{\cos\frac{1}{2}s};$$

expression qui devient $\frac{0}{1}$, ou 0, lorsqu'on y fait $s=0$. Ainsi l'effet utile est alors nul.

CALCUL DE L'EFFET UTILE EXPRIMÉ PAR

$$-\cot\frac{1}{2}s.\log\left(\cos\frac{1}{2}s\right),$$

DANS L'HYPOTHÈSE OÙ L'OUVERTURE DU RÉFLECTEUR EST CONSTANTE POUR LA VALEUR

$$\frac{1}{2}s=53°\,59'\,32'',$$

RÉPONDANT AU MAXIMUM, LORSQUE C'EST LA SURFACE DU RÉFLECTEUR QU'ON SUPPOSE CONSTANTE.

$$\log\left(\cos\frac{1}{2}s\right)=-0,2306992\ldots\log+=\bar{1},3630461$$

$$\log\cot\frac{1}{2}s=\bar{1},8613851$$

$$\bar{1},2244312=\log 0,16766$$

Le maximum est.............. 0,17475

Différence..... −0,00709

c'est-à-dire environ $\frac{1}{25}$.

N° IV (A).

$$s = 90^{\circ}; \quad \tfrac{1}{2}s = 45^{\circ}; \quad \cot\tfrac{1}{2}s = 1; \quad \cos\tfrac{1}{2}s = \sqrt{\tfrac{1}{2}};$$

$$-\cot\tfrac{1}{2}s . \log\left(\cos\tfrac{1}{2}s\right) = -\log\sqrt{\tfrac{1}{2}} = 0,150515.$$

On voit que l'expression de l'effet utile va toujours en diminuant à mesure que le réflecteur a moins de profondeur.

En représentant toujours par λ le diamètre de l'ouverture du réflecteur, on a pour l'expression de sa surface :

$$\tfrac{1}{6}\pi\lambda^2\left(\frac{1}{\sin^2\frac{1}{2}s\cos\frac{1}{2}s} - \cot^2\tfrac{1}{2}s\right).$$

Ainsi, en supprimant le facteur constant $\frac{1}{6}\pi\lambda^2$, on a, pour la quantité à laquelle elle est proportionnelle, et qui peut servir à la représenter,

$$\frac{1}{\sin^2\frac{1}{2}s\cos\frac{1}{2}s} - \cot^2\tfrac{1}{2}s, \quad \text{ou} \quad \frac{1}{\sin^2\frac{1}{2}s\cos\frac{1}{2}s} - \frac{\cos^2\frac{1}{2}s}{\sin^2\frac{1}{2}s}.$$

Dans le cas du maximum,

$$\tfrac{1}{2}s = 63^{\circ}\ 12'\ 26'',$$

$$\log\cos\tfrac{1}{2}s = \bar{1},6539484, \quad \text{et} \quad \log\sin\tfrac{1}{2}s = \bar{1},9506777.$$

$$\frac{1}{\sin^2\frac{1}{2}s\cos\frac{1}{2}s} = 2,7842$$

$$\frac{\cos^2\frac{1}{2}s}{\sin^2\frac{1}{2}s} = 0,2550$$

Surface....... $= 2,5292$

valeur répondant au maximum de l'effet utile.

N° IV (A). $\frac{1}{2}s = 53^\circ 59' 32''$... log cos $\frac{1}{2}s = \bar{1},7693008.$

$$\frac{1}{\sin^2\frac{1}{2}s\cos\frac{1}{2}s} = 2,5994$$

$$\frac{\cos^2\frac{1}{2}s}{\sin^2\frac{1}{2}s} = 0,5282$$

Surface....... = 2,0712

2,5292

Différence....... 0,4580

C'est presque $\frac{1}{5}$ d'économie dans la surface.

$$p = \lambda \cot\frac{1}{2}s; \quad x = \frac{1}{4}\lambda \operatorname{tang}\frac{1}{2}s.$$

$\frac{1}{2}s = 63^\circ 12' 26''$..... tang $\frac{1}{2}s = 1,9803$

$\frac{1}{2}s = 53^\circ 59' 32''$..... tang $\frac{1}{2}s = 1,3760$

Différence........ 0,6043

La plus petite des deux profondeurs n'est guère que les $\frac{2}{3}$ de la plus grande, et la plus petite n'occasionne qu'une perte de $\frac{1}{15}$ dans l'effet de la réflexion utile, en produisant une économie de $\frac{1}{5}$ sur la surface du réflecteur.

N° IV (B).

NOTE

SUR LA COMPARAISON DES PETITS ET DES GRANDS RÉFLECTEURS.

Puisque le produit utile de la réflexion est proportionnel à la distance de l'objet éclairant à la surface du miroir parabolique, il s'ensuit que, dans deux réflecteurs semblables, mais dont l'un a un paramètre double de l'autre par exemple, le plus grand utilise deux fois mieux la lumière que l'autre. Il est clair que cette proportion ne doit pas être poussée très-loin, vu que, en augmentant trop les dimensions du réflecteur, on finirait par concentrer presque tous les rayons dans le plan horizontal, et l'on n'aurait plus assez de rayons plongeants. Mais dans la comparaison qu'il s'agit d'établir entre les réflecteurs anglais et les grands réflecteurs de 30 pouces [a], nous pouvons considérer l'effet utile de la lumière comme proportionnel au rayon vecteur, vu que les grands réflecteurs de 30 pouces donnent encore assez de feux plongeants.

Cela posé, si l'on voulait produire avec des réflecteurs de dimensions moitié moindres, par exemple, le même effet utile qu'avec deux réflecteurs de 30 pouces, il faudrait en employer quatre, dont la surface totale ne serait, à la vérité, que moitié de la somme des deux surfaces des grands réflecteurs.

Supposons que le prix des réflecteurs soit proportionnel à leur sur-

[a] Il s'agit ici de la comparaison entre un réflecteur anglais *plaqué*, ayant 522 millimètres d'ouverture et 217 millimètres de profondeur, avec un réflecteur *argenté* de Lenoir, de 837mm,5 d'ouverture et de 331 millimètres de profondeur.

N° IV (B). face (hypothèse qui me paraît plus à l'avantage des petits réflecteurs que des grands), alors les deux grands réflecteurs coûtant 2,000 francs, les quatre petits ne coûteront que 1,000 francs. Or l'intérêt de 1,000 francs à 10 pour 100 est 100 francs. Mais, d'un autre côté, les quatre petits réflecteurs nécessiteront la dépense en huile de quatre becs, tandis que les deux grands réflecteurs seront éclairés par deux becs : ainsi le système des quatre petits réflecteurs dépensera de plus en huile de quoi alimenter deux becs. M. Clément estime à 78 francs environ la dépense annuelle d'un bec ordinaire de quinquet qui brûle chaque jour pendant quatre heures et demie : les nuits moyennes étant de neuf heures, la dépense annuelle d'un bec, dans un phare, doit être de 156 francs, et la dépense de deux becs, par conséquent, de 312 francs.

Tel sera l'excédant annuel de la dépense des quatre petits réflecteurs sur les deux grands.

Or nous venons de voir que l'économie de leur établissement ne porte qu'un intérêt annuel de 100 francs. Ainsi, sous le rapport de l'économie, le système des grands réflecteurs est très-supérieur à celui des petits réflecteurs.

Mais il est à remarquer, à l'avantage des petits réflecteurs, qu'ils occuperaient deux fois moins de place et qu'ils pèseraient deux fois moins.

Ainsi la préférence que l'on accordera à l'un des deux systèmes dépendra de l'importance qu'on attachera, soit à l'économie, soit à la possibilité de placer une plus grande quantité de réflecteurs dans une lanterne de phare de dimensions données.

Mais si l'on applique aux réflecteurs des *becs doubles* semblables à celui que nous avons essayé[a], et qui produit presque l'effet de cinq becs ordinaires, le nombre des réflecteurs nécessaires pour produire les plus grands effets étant alors très-borné, il est clair qu'on devra pré-

[a] Le premier essai fait à l'Observatoire d'un *bec à deux mèches concentriques* date du 27 septembre 1819, ce qui donnerait lieu de penser que la rédaction de la présente Note remonte à la fin de 1819 ou au commencement de 1820.

férer les grands réflecteurs aux petits, et d'autant plus qu'avec cette espèce de becs les dimensions de l'objet éclairant sont augmentées [a]. N° IV (B).

---

[a] Cette Note, extraite, avec les cinq précédentes, d'un ancien carnet de Fresnel (comme nous l'avons dit plus haut), offre le résultat de ses premières études sur une question qui n'avait pas encore été traitée à fond. On remarquera qu'il ne compare ici les *petits* et les *grands réflecteurs paraboliques* qu'au point de vue de la composition des appareils de *phares tournants*, et qu'il ne s'occupe pas des appareils catoptriques *à feu fixe*. Il est évident que, pour ces derniers, les réflecteurs de médiocre dimension doivent être préférés, comme pouvant être installés en plus grand nombre dans une lanterne de dimensions données et se prêter ainsi à une répartition moins inégale de la lumière à projeter sur l'horizon. Au surplus, le système *lenticulaire* allait bientôt fournir les moyens de satisfaire complétement à cette condition essentielle des appareils *à feu fixe*, qui, dans le système *catoptrique*, présente un problème pratiquement insoluble pour les phares à grande portée.

N° IV (C).

LETTRE D'AUGUSTIN FRESNEL À M. SGANZIN.

Paris, ce mardi 11 avril 1820.

Monsieur,

M. Gambey désirerait être chargé de la construction de vingt réflecteurs[a] semblables au réflecteur anglais[b]; et ce n'est même qu'à cette condition qu'il s'engagerait dans cette entreprise, à cause des dépenses premières assez considérables qu'elle nécessite. Bien entendu que le gouvernement ne s'obligerait à en faire l'acquisition qu'autant que les réflecteurs en plaqué de M. Gambey seraient d'un poli aussi parfait que le réflecteur anglais.

Je ne crois pas ce nombre de réflecteurs trop considérable, soit pour un phare à feux tournants, soit pour un phare à feu fixe, dans lequel il faut évidemment beaucoup plus de réflecteurs que dans le premier, pour que son feu ait dans tous les sens autant de portée que le feu tournant. Ces vingt réflecteurs exigeraient, à la vérité, vingt becs de lampe; mais il n'y aurait point là une consommation extraordinaire en huile, puisque le système que nous venons d'essayer sur l'arc de triomphe de l'Étoile portera vingt-quatre becs, c'est-à-dire quatre de plus[c]. Quant au prix des vingt réflecteurs de M. Gambey, qui sera de 12,000 francs, il n'excédera pas beaucoup celui du phare de M. Bordier-Marcet; et je présume qu'ils produiront un plus bel

---

[a] Fresnel s'était adressé au célèbre opticien Gambey pour obtenir des réverbères paraboliques exécutés avec toute la perfection possible; mais les négociations entamées à ce sujet se prolongèrent, sans aboutir, jusqu'à une époque où la supériorité du système lenticulaire, pleinement constatée par l'expérience, dut les faire définitivement abandonner.

[b] Voyez la note (a) de la page 57.

[c] Il s'agit d'un appareil composé de douze grands réverbères à double effet de Bordier-Marcet.

effet. Ils auront d'ailleurs, sur ceux de M. Bordier-Marcet, l'avantage d'être en plaqué au lieu d'être simplement argentés. N° IV (C).

Si vous jugez qu'on puisse commander vingt réflecteurs à M. Gambey, il serait à désirer que vous en fissiez la proposition à M. le directeur général le plus tôt possible, parce que M. Gambey ne pourra présenter son premier réflecteur à la Commission qu'un mois après avoir reçu l'autorisation qu'il demande.

Il a trouvé le moyen de construire de pièces et de morceaux des réflecteurs d'aussi grande dimension qu'on pourra le désirer, en se servant toujours de cuivre plaqué ; ce qui permettra d'économiser davantage la lumière dans les autres phares qu'on lui commandera ; car on tire toujours un parti d'autant plus grand de la même lumière, qu'on augmente davantage les dimensions du réflecteur au foyer duquel elle est placée. Bien entendu cependant qu'il ne faut pas dépasser une certaine limite relativement aux dimensions de l'objet éclairant, parce qu'on n'aurait plus alors assez de feux plongeants.

Je suis, etc.

A. FRESNEL.

N° IV (D).

NOTE

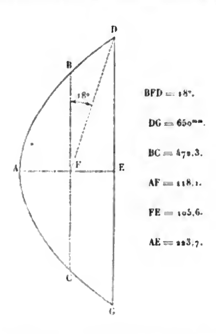
ADRESSÉE

PAR A. FRESNEL À M. GAMBEY,

INGÉNIEUR-OPTICIEN,

POUR LA CONSTRUCTION D'UN RÉFLECTEUR PARABOLIQUE[1].

La superficie d'un réflecteur parabolique DBACG étant donnée, j'ai trouvé par le calcul que, pour qu'il produisît le plus grand effet utile,



il fallait que l'angle BFD, que les rayons extrêmes font avec le paramètre, fût de 18 degrés.

---

[1] Voyez la première annotation sur le fragment (A).

Cela posé, le diamètre de l'ouverture du réflecteur étant de 650 millimètres, il en résulte que le paramètre BC doit avoir $472^{mm},3$ de longueur; que la distance AF, du fond du miroir au foyer, doit être de $118^{mm},1$; celle FE, du foyer au plan de l'ouverture, de $105^{mm},6$, et, par conséquent, la profondeur totale du miroir doit être de $223^{mm},7$. N° IV (D).

Il résulte de ces dimensions du réflecteur que sa surface, supposée développée sur un plan, aurait 0,4582 en mètres carrés.

Paris, le 19 avril 1820.

A. FRESNEL.

N° V.

MÉMOIRE

SUR

L'ÉCLAIRAGE DES PHARES[a].

[*Fragment*... 1820.]

1. Je m'occuperai d'abord des phares à feux tournants, comme les plus intéressants, parce que c'est dans ce système d'éclairage, imaginé par M. Teulère[b], qu'on peut obtenir le plus aisément de grands effets de lumière.

---

[a] Mémoire sans date et non terminé, qui devait comprendre deux parties principales, l'une relative aux *feux tournants* et l'autre aux *feux fixes*. Nous n'avons trouvé dans les papiers d'Augustin Fresnel que la première, et l'état du manuscrit autographe donne tout lieu de présumer que la seconde n'a pas été rédigée.

Ce fragment, n'ayant pour objet que les appareils catoptriques, semblerait devoir figurer en tête de la section des phares. Mais, en nous reportant à la première note du N° IV (A), nous ferons remarquer :

1° Que la critique que fait ici notre auteur des réverbères à double effet de Bordier-Marcet paraît postérieure à la rédaction du N° II (B), où ils sont comparés théoriquement aux réflecteurs paraboliques ordinaires;

2° Qu'au paragraphe 12 ci-après il est question de «la fabrication des réflecteurs en feuilles de cuivre plaqué, qu'entreprend M. Gambey, à l'instar des Anglais;»

3° Qu'une note adressée par Fresnel à Gambey, au sujet de cette même commande, et reproduite sous le N° IV (D), est datée du 19 avril 1820.

De tous ces rapprochements il résulte que le présent fragment doit être rapporté au commencement de cette même année 1820.

[b] Voyez, sur la question de priorité dans l'invention des phares à *feux tournants*, la note (a) de la page 32.

N° V.

PHARES À FEUX TOURNANTS.

2. On doit distinguer deux choses dans la sensation de lumière qu'ils produisent sur l'observateur : sa vivacité et sa durée, ou, plus exactement, le rapport de la durée de l'*éclat* à la durée de l'*éclipse* qui lui succède; car on conçoit aisément qu'on pourrait toujours ralentir assez le mouvement de rotation pour prolonger l'éclat aussi longtemps qu'on voudrait, mais qu'il en résulterait nécessairement un accroissement proportionnel dans la durée de l'éclipse. Plus l'éclat est long par rapport à l'éclipse, plus il y a de chances pour que le navigateur l'aperçoive, et c'est seulement de ce rapport que dépendent ces chances; car lorsqu'on accélère le mouvement de rotation, si d'une part les éclats passent plus vite, en revanche ils se succèdent plus rapidement, et précisément dans le même rapport; en sorte qu'il y a autant de chances dans un mouvement rapide que dans un mouvement lent pour que le phare soit aperçu du navigateur.

Ce résultat évident d'un calcul bien simple de probabilités nous laisse donc la faculté de varier à volonté la durée des rotations dans les différents phares, ce qui est un des moyens les plus simples et les plus commodes de les distinguer.

3. La vivacité de la lumière est une qualité au moins aussi essentielle que sa durée dans un feu tournant. Je crois même qu'on doit la placer au premier rang; car une lumière trop faible ne serait pas aperçue, quelle que fût la durée de l'éclat, tandis qu'une lumière vive pourrait l'être, quoique passant avec une grande rapidité.

4. Il est nécessaire de fixer le degré d'importance relative qu'on doit attacher à chacune de ces deux qualités; car la quantité de lumière dont on peut disposer restant la même, je suppose, on n'augmente l'intensité de l'éclat qu'en diminuant sa durée, et l'on n'augmente sa durée qu'aux dépens de son intensité.

Malheureusement il est difficile de décider jusqu'à quel point on doit sacrifier l'intensité à la durée, ou la durée à l'intensité.



5. Si l'atmosphère avait toujours le même degré de transparence, après avoir déterminé par l'observation le degré d'intensité qu'il faut donner à la lumière d'un phare pour qu'il soit aperçu à la distance que comporte sa hauteur, on saurait que toute augmentation d'éclat est inutile; et si l'on pouvait disposer d'une plus grande quantité de lumière, on l'emploierait uniquement à prolonger la vision, au lieu de rendre la sensation plus vive. Mais il n'en est pas ainsi; la transparence de l'air éprouve continuellement dans nos climats les plus grandes variations, et lorsque les brouillards sont un peu épais, la lumière la plus brillante les traverse difficilement; en sorte que, dans ce cas particulier, on devrait sacrifier entièrement la durée à la vivacité de l'éclat. Il faudrait donc placer tous les réflecteurs sur une même face, en tournant leurs axes dans des directions parallèles, ou, parce que la nécessité d'un contre-poids doublerait la charge de l'arbre de rotation, il ne faudrait les répartir du moins que sur deux faces diamétralement opposées, au lieu de les distribuer sur trois ou même quatre faces, comme on le fait ordinairement. N° V.

Mais il était naturel de ne pas établir la règle sur un cas particulier, et de préférer la distribution des réflecteurs qui était la plus avantageuse dans les circonstances les plus fréquentes. Ainsi, puisqu'on dispose assez généralement le système de huit grands réflecteurs de 30 ou 32 pouces d'ouverture sur les quatre faces d'un carré, en les réunissant deux à deux dans des directions parallèles, on doit présumer : 1° qu'il en faut deux pour produire une lumière assez intense, et qu'on doit rejeter la distribution de ces huit réflecteurs dans huit directions différentes, qui permettrait de doubler la durée des éclats; 2° que la lumière produite par deux grands réflecteurs accouplés est suffisante, et que ce serait sacrifier mal à propos la durée des éclats à leur vivacité que de réunir, par exemple, dans une même direction trois ou quatre de ces huit réflecteurs.

6. Néanmoins la variété des systèmes d'éclairage exécutés jette une grande incertitude sur les conséquences qu'on pourrait tirer de celui que je viens de citer. Ce n'est qu'en consultant les marins qui fréquen-

N° V. tent nos côtes, qu'on pourra rassembler les données nécessaires pour décider la question. Ainsi, par exemple, s'ils se plaignent plus généralement du peu de durée des éclats d'un phare que de leur défaut de vivacité, on devra en conclure que c'est plutôt la première qualité que la seconde qu'il faut augmenter. Mais on aurait tort d'en tirer une conséquence générale pour tous les autres phares. La différence de leur objet doit en apporter dans le système d'éclairage. Il en est qui sont destinés à tracer de loin la route aux navigateurs, et pour ceux-là la qualité la plus essentielle est la vivacité de la lumière. D'autres servent principalement au cabotage et n'ont pas besoin d'avoir des feux d'une grande portée; on peut alors, dans ce cas, prolonger les éclats aux dépens de leur intensité. Dans tous les cas, c'est toujours l'opinion des marins qui doit décider à adopter tel ou tel système d'éclairage pour chaque phare, et à sacrifier tantôt la vivacité des éclats à leur durée, et tantôt leur durée à leur vivacité. Car, encore un coup, la quantité d'huile que l'on peut consommer, la quantité de lumière dont on peut disposer étant déterminées, c'est toujours aux dépens d'une de ces deux qualités qu'on parvient à augmenter l'autre.

7. Mais, dira-t-on, pourquoi ne pas augmenter la dépense d'huile, lorsqu'il s'agit de remplir un but aussi important que l'éclairage d'un phare? Je demanderai, à mon tour, pourquoi l'on n'augmenterait pas aussi le nombre des réflecteurs et enfin les dimensions de la lanterne destinée à les recevoir; car ce sont aussi des moyens d'accroître les effets de lumière, et qui ne sont pas plus dispendieux que l'autre, comme nous le verrons bientôt. Je suis loin de penser que les dépenses que l'on a faites pour l'éclairage des différents phares de France soient proportionnées à leur utilité; je crois au contraire qu'ils réclament des améliorations importantes, non-seulement par un meilleur emploi des fonds affectés à cet objet, mais encore par l'augmentation de ces fonds. Mais dans tous les cas on devra chercher à tirer le meilleur parti possible de la lumière dont on pourra disposer; or le moyen de l'employer avec le plus d'économie est en général d'augmenter le nombre des réflecteurs, quand on augmente celui des becs de lampe, et de

donner en même temps à ces réflecteurs des dimensions suffisantes; N° V.
car le calcul démontre que, l'intensité de la lumière de la flamme de la lampe restant la même, la vivacité de l'éclat doit être à peu près proportionnelle à la surface de l'ouverture, quel que soit d'ailleurs le volume de la flamme, qui n'influe que sur sa durée.

8. Pour appliquer ce principe à un exemple, je choisirai les réflecteurs à double parabole de M. Bordier-Marcet[a]. Ces réflecteurs portent deux becs de lampe placés au foyer de chacun des deux paraboloïdes. Il résulte, de cette disposition dans la direction de leur axe commun, un effet semblable à celui qu'aurait produit un seul de ces becs au foyer d'un paraboloïde unique d'une ouverture égale à celle du réflecteur de Bordier-Marcet, et, en outre, des feux obliques dans des directions assez éloignées de l'axe, quoique M. Bordier-Marcet ait rapproché le plus possible ses deux becs l'un de l'autre pour diminuer cette divergence. Il résulte de la trop grande étendue de l'angle embrassé par les feux obliques qu'ils sont très-faibles et ne peuvent prolonger la vision que pour des distances peu considérables. Ils ne peuvent donc guère servir à prolonger l'*éclat*, c'est-à-dire cette lumière vive qui a une grande portée. Pour qu'ils remplissent cet objet, il faudrait que l'excentricité de chaque flamme par rapport à l'autre foyer fût beaucoup moindre, qu'il y eût au moins continuité, c'est-à-dire que les flammes se touchassent. Par rapport à une partie du fond du réflecteur, elles présentent, à la vérité, cette continuité, puisque leurs rayons s'y projettent l'un à côté de l'autre; il y en a même une petite portion qui reçoit les rayons de l'une à travers l'autre, d'où résulterait pour cet endroit une augmentation d'intensité de l'objet éclairant. Mais comme cet endroit a peu d'étendue, cet avantage doit être à peu près compensé par l'accroissement des ombres portées résultant de l'addition d'un bec. Ainsi je crois que la vivacité de l'éclat n'en reçoit pas d'augmentation bien sensible; et les feux obliques qui succèdent à l'éclat, en raison de la petitesse de la portion du miroir qui les envoie, ne peuvent pas

[a] Voir la *figure* de la page 17 du présent volume.

N° V. non plus en prolonger beaucoup la durée. Voilà donc la consommation d'huile doublée, sans qu'il en résulte sans doute plus d'un sixième d'augmentation dans la durée de l'éclat. On obtient, à la vérité, des feux obliques dans un angle assez étendu, mais qui ont peu de portée, comme nous l'avons dit, et cessent d'être aperçus à la distance de 3 à 4 lieues, ainsi qu'on s'en est assuré par les deux observations de Saint-Germain.

Supposons maintenant que, ayant doublé le nombre des becs, on ait aussi doublé celui des réflecteurs, en leur donnant la forme ordinaire d'un paraboloïde unique, et ne plaçant qu'un bec dans chaque réflecteur : alors on tirera un parti bien plus avantageux de la dépense d'huile, relativement à la durée ou à la vivacité des éclats. Veut-on doubler leur intensité, il suffira de tourner les nouveaux réflecteurs dans les mêmes directions que les groupes du premier système, auquel on les ajoute. Préfère-t-on doubler leur durée, il faudra incliner leurs axes sur ceux des premiers d'un angle égal à celui du cône lumineux qui produit l'éclat, de sorte que l'éclat des uns succède immédiatement à celui des autres, ou, ce qui vaut peut-être mieux, diriger leurs axes dans des plans qui divisent en deux parties égales les intervalles angulaires qui séparaient les groupes du premier système, et rendre le mouvement de rotation deux fois plus lent; car alors la durée des éclats est doublée, sans que celle des éclipses soit augmentée. On voit donc, dans tous les cas, qu'en doublant le nombre des réflecteurs en même temps que celui des becs on double aussi l'effet utile; tandis qu'en adoptant le système de Bordier-Marcet on ne l'augmente peut-être que d'un dixième, du moins quant à l'éclat proprement dit, qui est la seule partie vraiment importante des effets produits par les phares à feux tournants auxquels on veut donner une grande portée.

9. Il y a, à la vérité, une grande économie dans le système de Bordier-Marcet, relativement au nombre des réflecteurs, puisqu'il est moitié moindre. Mais, pour voir si cette économie est bien entendue, comparons la dépense des réflecteurs à celle de l'huile.

Un grand réflecteur de 30 ou 32 pouces d'ouverture coûte 1,000 fr.

dont l'intérêt à 10 pour 100 est 100 francs : ainsi cette somme équivaut à une dépense annuelle de 100 francs. Un bec ordinaire de quinquet portant une mèche de 8 lignes dépense, dit-on, 1 once d'huile par heure. Pour moi, j'ai toujours trouvé une consommation d'un douzième de livre environ; mais supposons 1 once : cela fera 10 onces pour la durée d'une nuit moyenne, et par conséquent, au bout de l'année, 3,650 onces ou 228 livres, qui, à 12 sous, prix ordinaire, coûteront 137 francs. La dépense annuelle pour un bec ordinaire est donc d'un tiers plus considérable que l'intérêt à 10 pour 100 du capital employé à la construction du réflecteur. Ainsi, avec un accroissement de dépense qui n'est pas double de celui qu'entraîne le système de M. Bordier-Marcet, on obtiendrait pour les éclats un accroissement d'effet qui serait peut-être décuple de celui qu'il obtient. Il n'y a donc pas à balancer entre les deux systèmes. N° V.

10. On objectera sans doute que celui qui double le nombre des réflecteurs est plus embarrassant, en raison de l'espace qu'il nécessite pour leur emplacement. Je répondrai d'abord que les mêmes lanternes où l'on a placé un système de huit réflecteurs, tel que celui dont j'ai déjà parlé, dans lequel ils sont disposés sur un même plan horizontal, avaient assez de hauteur pour contenir deux ou même trois rangs pareils, placés les uns au-dessus des autres, ce qui aurait produit des feux aussi brillants ou aussi prolongés qu'on peut le désirer. J'ajouterai d'ailleurs qu'une cage assez grande pour contenir ces vingt-quatre réflecteurs ne coûte que 7 à 8,000 francs, tandis que l'huile consommée dans un an par vingt-quatre becs occasionnerait une dépense de 4,288 francs, qui répond à un capital de 42,880 francs. On voit donc que la dépense pour la construction, et à plus forte raison pour un simple exhaussement ou élargissement de la cage, est bien petite par rapport à la dépense d'huile, et que, par conséquent, c'est principalement dans cette dépense qu'il faut apporter de l'économie, en s'efforçant, lorsqu'on l'augmente, d'en tirer un avantage proportionné à cette augmentation. Or nous venons de voir que les dépenses complémentaires au moyen desquelles on tire tout le parti possible de l'augmentation du nombre des becs de lampe sont

N° V. des dépenses bien entendues, puisque, si on ne les faisait pas, une grande partie de l'huile consommée et de la lumière produite le serait en pure perte; et que, si l'on compare ces dépenses à la consommation d'huile, on trouve qu'elles augmentent les avantages qu'elle procurait avec les réflecteurs de Bordier-Marcet, dans une bien plus grande proportion qu'elles n'augmentent la dépense totale.

11. On pourra faire encore une autre objection au parti économique que je propose, de donner un réflecteur à chaque bec : c'est qu'il augmente beaucoup la charge de l'axe de rotation, qu'une horloge doit faire tourner. Le phare de Cordouan ne contient que douze grands réflecteurs de 32 pouces d'ouverture, et leur poids cependant fatigue beaucoup l'échappement de l'horloge et y occasionne de fréquentes dégradations, m'a dit M. Wagner.

12. Je ferai remarquer d'abord que ces miroirs paraboliques, les premiers, je crois, qui aient été faits dans d'aussi grandes dimensions, sont beaucoup plus épais et plus pesants que ceux que fabriquent à présent M. Lenoir fils, et surtout M. Bordier-Marcet, qui a déjà beaucoup allégé les siens, d'après la demande de la Commission. J'ajouterai que la fabrication de réflecteurs en feuilles de cuivre plaqué, qu'entreprend M. Gambey, à l'instar des Anglais, nous promet des appareils infiniment plus légers.

D'ailleurs il est aisé de faire tourner des masses considérables sans inconvénient pour le mouvement de l'horloge, lorsqu'on divise le moteur en deux poids, dont l'un, très-petit, fait marcher l'horloge, et l'autre, beaucoup plus gros, fait tourner l'arbre qui porte les réflecteurs, comme l'a très-ingénieusement exécuté M. Wagner. Il m'a assuré que sa machine pourrait être appliquée avec succès à l'appareil de Cordouan et même à des masses beaucoup plus pesantes encore. . . . . .

. . . .

N° VI.

PROJET

D'UN

PHARE A FEUX TOURNANTS,

DANS LEQUEL

LES RÉFLECTEURS SERAIENT REMPLACÉS PAR DES LENTILLES[a].

[Présenté à la Commission des phares dans sa séance du 31 octobre 1820.]

---

1. Les lentilles ont, comme les miroirs paraboliques, la propriété de ramener à des directions parallèles les rayons lumineux partis de leur foyer. Les lentilles produisent par réfraction l'effet que les miroirs paraboliques produisent par réflexion. On a songé depuis longtemps à les employer dans l'éclairage des phares. Il y a même en Angleterre un phare construit d'après ce système[b]; mais il ne paraît pas qu'il soit très-brillant; ce qui tient sans doute à la grande épaisseur de ses len-

---

[a] Cet avant-projet d'un appareil dioptrique tournant, dont Fresnel avait soumis le programme à la Commission des phares, dès le mois d'août 1819 (v. N° I, §§ 9 et suivants), a été refondu et complété dans le Mémoire ci-après (N° VIII), qui a remplacé la première étude. Celle-ci devait toutefois être intégralement reproduite, comme offrant, par son rapprochement avec le projet définitif, d'intéressantes indications sur l'origine et le développement des conceptions de Fresnel dans la création de son système de phares.

[b] Le phare de *Portland*. — Nous n'avons recueilli sur la composition de son appareil d'éclairage que les seules indications fournies par le passage suivant d'un article de sir David Brewster sur les *Phares Britanniques*, inséré dans le numéro cxv de la *Revue d'Édimbourg* : «The superiority of lenses indeed was so well known, that the Trinity-House resolved to try them, and the lower lighthouse in the isle of Portland was fitted up, in 1789, with lenses

N° VI. tilles, qui éteint une partie considérable de la lumière incidente, et peut-être aussi à la combinaison des réflecteurs avec les lentilles, sur laquelle je n'ai pas de renseignements assez détaillés pour en juger.

2. Lorsque le verre est bien diaphane et a peu d'épaisseur, la seule diminution sensible que la lumière éprouve en le traversant est celle qui résulte des réflexions sur ses deux surfaces; et cette perte n'est guère que d'un vingtième, d'après les expériences de Bouguer; tandis que la perte est de moitié dans la réflexion de la lumière sur les meilleurs miroirs métalliques; c'est-à-dire que les miroirs les plus brillants et les mieux polis ne réfléchissent que la moitié de la lumière incidente, le reste s'éteignant dans leur substance. Il semble résulter de là, au premier abord, que les lentilles devraient présenter une économie considérable dans l'emploi de la lumière, si l'on trouvait un moyen d'éviter de leur donner une grande épaisseur. Mais, en supposant même ce problème résolu d'une manière satisfaisante, la supériorité des lentilles sur les réflecteurs ne serait pas aussi grande qu'on pourrait l'imaginer, parce que les réflecteurs paraboliques d'une profondeur ordinaire, enveloppant pour ainsi dire l'objet éclairant, reçoivent sur leur surface les sept dixièmes environ des rayons qui en émanent; tandis qu'avec des lentilles on ne peut guère en utiliser directement plus des deux cinquièmes.

3. Pour diminuer l'épaisseur des lentilles, j'ai imaginé de les faire

---

twenty two inches in diameter; but with characteristic ignorance, parabolic reflectors were placed behind them. M. Fresnel mentions the fact of lenses being used in England, and disclaims any originality in the idea of using them; but he has the indoubted merit of having introduced them and the subsidiary lenses and reflectors into the French lighthouses, and of having developed in his Memoir various original and beautiful ideas, which, we believe, have actually been put in practice.» (*Edinb. Review*, n° cxv, april 1833, p. 184.)

Ce très-remarquable passage n'accorde guère, on le voit, à Augustin Fresnel que le mérite de l'*importation* et du *perfectionnement* du système des phares lenticulaires, et la dernière phrase résume implicitement l'incessante revendication de sir David Brewster quant à la priorité d'invention. La réponse nous paraît facile; mais, en raison des développements qu'elle exige, nous l'avons réservée pour notre Introduction, où nous croyons avoir ramené la question à ses véritables termes.



en étages, comme le représente l'épure que j'ai l'honneur de mettre sous les yeux de la Commission [a]. Je dis *imaginé*, quoique l'idée ne soit pas neuve, parce que j'ignorais alors que Buffon avait jadis proposé le même moyen. M. Charles m'a appris depuis que M. Rochon avait même entrepris de faire exécuter une très-grande lentille en étages, mais qu'il y avait renoncé à cause des difficultés que présentait le procédé qu'il voulait suivre, qui consistait à refouiller le verre, comme l'avait indiqué Buffon. Ces difficultés disparaissent lorsqu'on divise le travail de la lentille en différents morceaux, qu'on peut réunir ensuite, soit en les collant entre eux par leurs bords, soit en les fixant sur une glace, ainsi que je l'ai fait faire pour la lentille dont la Commission a autorisé la construction. C'est là la seule idée qui m'appartienne, et qui n'a sans doute rien de remarquable sous le rapport de l'invention, mais qui rend facile la construction des plus grandes lentilles [b]. N° VI.

---

[a] Voyez la planche I. Elle présente, à l'échelle de $\frac{1}{14}$, le dessin d'un panneau lenticulaire plan-convexe de 76 centimètres de côté et de 92 centimètres de longueur focale, formé de 10 zones et fractions de zones polygonales concentriques subdivisées en 100 éléments. Dans les premiers essais de fabrication, la face convexe de chacun de ces morceaux de verre fut *travaillée au bassin* en portion de surface sphérique osculatrice à la surface annulaire normale, c'est-à-dire de manière à satisfaire aussi exactement que possible à la condition de l'émergence parallèle des rayons lumineux émanés du foyer commun. Mais aussitôt que l'opticien-fabricant, M. Soleil père, eut établi, d'après les instructions de Fresnel, un équipage mécanique pour la taille des verres lenticulaires, et eut obtenu de la manufacture de Saint-Gobain des pièces de crown-glass moulées dans des dimensions suffisantes, on exécuta sous forme *annulaire* les zones concentriques des lentilles échelonnées. Leur effet utile s'accrut ainsi de près de moitié.

La petite lentille *polygonale* mentionnée dans le présent mémoire n'avait que 55 centimètres en carré, pour une longueur focale de 70 centimètres.

Le premier essai d'une grande lentille annulaire de 76 centimètres de côté et de 92 centimètres de foyer eut lieu le 19 juin 1822.

[b] La priorité, quant à la double idée de profiter de la division des lentilles pour en faciliter la taille en travaillant séparément leurs zones concentriques, et pour corriger en même temps l'aberration de sphéricité, appartient à Condorcet, ainsi qu'il résulte du passage suivant de son Éloge académique de Buffon, dont Fresnel assurément n'avait eu jusqu'alors aucune connaissance :

« Bientôt après [l'exécution des *miroirs d'Archimède*], il [M. de Buffon] proposa l'idée d'une

N° VI. 4. Les morceaux de notre lentille ont été fixés sur la glace qui les réunit[a], avec de la térébenthine de Venise; mais une partie de cette térébenthine a coulé par les joints, soit parce qu'elle n'avait pas été assez épaissie au feu, soit par suite des changements que le cadre, qui est de bois, a dû éprouver dans ses dimensions, en raison des variations hygrométriques de l'air. Je suis persuadé qu'on n'aurait plus à craindre cet inconvénient si le cadre était de métal, et si les joints entre les morceaux de verre étaient bouchés avec du mastic. Je me suis assuré d'ailleurs, par les renseignements que j'ai pris à ce sujet, que le collage à la térébenthine n'est pas sujet à se piquer (comme disent les opticiens), puisque des objectifs de télescope collés de cette manière depuis trente ans n'ont pas encore éprouvé d'altération dans leur transparence. Il me paraît néanmoins plus sûr de réunir les morceaux par leurs bords avec de la colle de poisson, au lieu de les coller sur une glace, parce que, alors, quelque altération que le temps puisse faire éprouver à la colle, son opacité n'aura aucune influence sur la transparence et l'effet de la lentille. La colle de poisson adhère d'ailleurs si fortement au verre, qu'on ne doit avoir aucune inquiétude sur la solidité du système. Il faudrait, pour séparer les morceaux, un choc aussi violent que pour les casser. Je conviens qu'un pareil accident peut ar-

---

«loupe à échelons, n'exigeant plus ces masses énormes de verre si difficiles à fondre et à travailler, absorbant une moindre quantité de lumière, parce qu'elle peut n'avoir jamais qu'une petite épaisseur, offrant enfin l'avantage de *corriger une grande partie de l'aberration de sphéricité*. Cette loupe, proposée en 1748 par M. de Buffon, n'a été exécutée que par l'abbé Rochon, plus de trente ans après, avec assez de succès pour montrer qu'elle mérite la préférence sur les lentilles ordinaires. On pourrait même *composer de plusieurs pièces ces loupes à échelons;* on y gagnerait plus de facilité dans la construction, une grande diminution de dépense, l'avantage de pouvoir leur donner plus d'étendue, et celui d'employer, suivant le besoin, un nombre de cercles plus ou moins grand, et d'obtenir ainsi, d'un même instrument, différents degrés de force.»

[a] L'addition de la *glace-support* ne paraît avoir eu lieu que pour les premiers essais. On conçoit qu'elle devint inutile du moment que l'on fut parvenu, sinon à exécuter d'une seule pièce chacun des anneaux de verre composant les grandes lentilles, du moins à réduire le nombre des subdivisions. Un simple collage des joints se trouva dès lors suffisant pour relier assez solidement les éléments des panneaux lenticulaires dans leur cadre de cuivre.

river, et que c'est un inconvénient que présente l'emploi des lentilles, car le même choc ne ferait que bossuer un réflecteur en feuilles de cuivre plaqué. Mais je ferai observer que dans ce cas on peut raccommoder la lentille aisément et à peu de frais, en recollant simplement les morceaux; à moins qu'ils n'aient été brisés en un trop grand nombre de parties, ou dans un sens perpendiculaire aux rayons, auquel cas il faudrait remplacer ceux qui ne pourraient plus servir[a]. N° VI.

5. Des diverses combinaisons des lentilles avec les lampes qu'on destine à l'éclairage du phare, la plus avantageuse est de réunir toutes les lumières en un seul faisceau placé au centre et entouré par huit lentilles carrées, embrassant chacune dans les deux sens un angle de 45°, et formant ainsi un prisme octogonal qui reçoit tous les rayons compris dans une zone équatoriale de 45°[1]. Cette zone comprend presque les deux cinquièmes de la sphère lumineuse qui émane de l'objet éclairant.

6. On peut utiliser une partie des rayons passant au-dessus des lentilles, au moyen de miroirs plans en glaces étamées, ou feuilles de cuivre plaqué, qui, réfléchissant les rayons supérieurs, les feront tomber sur les lentilles et formeront ainsi des feux plongeants. Quant aux rayons qui passent au-dessous des lentilles, on ne peut les utiliser de la même manière, puisque, ainsi dirigés, ils se relèveraient au-dessus du plan horizontal. Il y aurait sans doute moyen de les réunir au faisceau des rayons parallèles; mais le système de réflecteurs que cela nécessiterait gênerait beaucoup l'abord du bec de lampe, et serait ainsi nuisible au service, outre qu'il augmenterait la dépense et le poids du

[1] Il serait difficile d'étendre les lentilles au delà de 45°, parce que les angles prismatiques des nouveaux morceaux de verre deviendraient trop considérables [*].

---

[a] Les lentilles des phares ne peuvent être mises hors de service que par des chocs auxquels elles sont fort peu exposées dans leurs lanternes.

[*] Dans ses études subséquentes pour les appareils lenticulaires de premier ordre à *feu fixe*, Fresnel a porté la hauteur du tambour dioptrique à 1 mètre, ce qui a étendu l'amplitude de la zone équatoriale jusqu'à près de 66°. On conçoit d'ailleurs que les limites doivent être plus resserrées pour un panneau lenticulaire tournant, dont les éléments concentriques s'étendent jusqu'aux extrémités des diagonales du cadre rectangulaire.



N° VI. système total. Je pense donc qu'il vaut mieux laisser les rayons inférieurs tomber directement dans la mer, où ils ne seront pas d'ailleurs tout à fait sans utilité, en formant des feux très-plongeants, qui éclaireront les abords du phare[a].

7. Pour employer les lentilles avec avantage, il est nécessaire que le feu central présente beaucoup de lumière sous un volume peu considérable. Nous sommes parvenus, M. Arago et moi, à résoudre ce problème d'une manière satisfaisante, en suivant l'idée de M. de Rumford[b] sur les becs à mèches multiples, et nous avons même été plus heureux que lui dans nos essais. Nous avons fait construire des becs à mèches concentriques, qui portent deux mèches, trois mèches et jusqu'à quatre mèches, et qu'on peut gouverner aussi aisément qu'un bec ordinaire. Nous avons évité complétement l'altération que la grande ardeur de ces foyers aurait pu occasionner dans les becs, en y amenant l'huile en quantité surabondante, comme dans les lampes de Carcel; et ce moyen nous a si bien réussi que, malgré le grand nombre et la durée des expériences auxquelles ces becs ont été soumis, nous n'avons pas encore été obligés de les nettoyer. Ces gros becs n'ont pas, comme ceux qu'on a faits jusqu'à présent avec une seule mèche circulaire, l'inconvénient de donner une flamme rougeâtre et de peu de hauteur. Leur lumière est aussi blanche que brillante, et les flammes concentriques, s'échauffant mutuellement, s'allongent avec facilité. Il est même nécessaire alors de tenir les cheminées un peu hautes, pour que l'air, se renouvelant rapidement, puisse suffire à la combustion de l'huile

---

[a] De nouvelles études conduisirent Fresnel à imaginer diverses combinaisons au moyen desquelles il parvint à utiliser, en plus ou moins forte proportion, les rayons lumineux passant au-dessus et au-dessous du tambour dioptrique *fixe* ou *mobile,* d'abord par un système pyramidal tronqué de lentilles additionnelles avec miroirs plans, pour projeter ces rayons à l'horizon, en accroissant la durée des éclats dans les appareils tournants; puis par des zones étagées de petits miroirs plans ou, mieux, concaves; enfin par des zones catadioptriques, dont l'invention et les premières applications datent des derniers temps de sa vie.

[b] Ou plutôt de Guyton de Morveau. (Voyez les *Annales de chimie*, 1re section, t. XXIV, p. 312.)

qui se volatilise et, en refroidissant le bec, empêcher les flammes d'acquérir un trop grand développement. N° VI.

8. On pouvait craindre que la vivacité de la combustion ne charbonnât les mèches concentriques, surtout dans le bec qui en porte quatre, plus rapidement que cela n'a lieu dans les becs ordinaires. Mais nous nous sommes assurés du contraire par expérience et nous avons reconnu en outre qu'au même degré de carbonisation, les mèches concentriques éprouvent moins de diminution dans l'effet qu'elles produisent; ce qui tient sans doute à ce que la grande chaleur du foyer facilite l'ascension de l'huile dans les mèches. Nous avons tenu le bec quadruple allumé, sans le moucher, pendant quatorze heures, et la vivacité de la lumière donnée par la lentille qu'il illuminait n'avait guère diminué dans l'axe que du sixième de son intensité primitive. Dans une autre expérience, après douze heures et demie de combustion sans que les mèches aient été mouchées, nous avons mesuré la lumière, non-seulement dans l'axe de la lentille, mais encore dans toutes les autres directions qu'embrassait le cône lumineux; et en ajoutant ces résultats partiels multipliés par les petits angles décrits, nous avons trouvé que l'effet total, comparé à celui que donnait le bec au commencement de l'expérience, avait à peine diminué d'un cinquième. Or il est à remarquer que ces deux expériences, à cause de leur longueur, n'ayant pu être faites chacune dans une seule séance, les mèches ont été rallumées à plusieurs reprises, et ont dû en conséquence se charbonner plus que si la combustion avait eu lieu sans interruption[a]. Il n'y a donc pas de doute que, dans ce cas, le résultat eût encore été un peu plus satisfaisant, et qu'ainsi le bec quadruple peut brûler pendant les plus longues nuits d'hiver sans qu'il soit besoin d'en moucher les mèches.

9. Il serait prudent néanmoins d'arranger l'appareil de manière que, en cas d'accident, on pût y substituer promptement un nouveau bec, si on le jugeait nécessaire. Or, comme dans ce système le bec ne

---

[a] Expériences faites à l'Observatoire par Arago et Fresnel, du 6 au 15 juin 1820.

N° VI. partagerait pas le mouvement de rotation des lentilles, il serait très-facile de satisfaire à la condition que je viens d'énoncer [a].

C'est ce bec quadruple que je proposerais de placer au centre du phare dont j'ai l'honneur de soumettre le projet à la Commission [b]. Avec un diamètre de 9 centimètres seulement, il produit l'effet d'environ vingt forts becs de quinquet ou lampes de Carcel. Il dépense par heure 800 grammes d'huile, dans les moments où sa combustion est le plus vive. Il y a plusieurs phares sur les côtes de France dont la consommation d'huile est aussi considérable et peut-être plus considérable. Je pourrais citer, entre autres, celui de la tour de Cordouan, dont la dépense d'éclairage et d'entretien s'élevait, il n'y a pas

---

[a] Dès l'installation du premier phare lenticulaire établi sur nos côtes (juillet 1823), on mit à la disposition des gardiens-allumeurs deux lampes mécaniques de rechange, dont une, toute prête à fonctionner, est montée chaque soir dans la chambre de la lanterne, pour remplacer, au besoin, la lampe de service.

[b] A ces indications sommaires répond l'appareil lenticulaire tournant figuré en plan et en coupe sur notre planche II, laquelle a été réduite d'après un dessin sans date, tracé par A. Fresnel au revers de l'épure de la grande lentille de 76 centimètres en carré, mentionnée ci-dessus, § 3.

Cette planche-croquis nous a paru assez intelligible pour se passer de légende. Nous avons d'ailleurs facilité son rapprochement avec la planche du projet définitif N° VIII, en la réduisant, comme celle-ci, à l'échelle de 4 centimètres pour mètre.

Parmi les différences les plus saillantes entre les deux études, nous signalerons particulièrement celles qui concernent l'appareil optique additionnel et le mode d'illumination.

1° L'appareil additionnel, qui présente, dans le second projet, un système mixte de lentilles et de miroirs plans, projetant à peu près horizontalement huit faisceaux lumineux, se réduit ici à une espèce de couvercle très-surbaissé, formé de deux zones octogonales de miroirs plans, qui réfléchissent dans des directions plus ou moins plongeantes les rayons lumineux divergeant au-dessus du tambour dioptrique.

2° Au lieu de la lampe mécanique à réservoir inférieur au bec, définitivement adoptée pour les grands appareils lenticulaires, la présente étude suppose le système optique illuminé par une lampe à réservoir supérieur au bec, telle que celle qui avait servi aux premiers essais d'illumination des lentilles à échelons.

Nous ferons enfin observer que nous avons laissé subsister, dans notre reproduction réduite de la coupe de l'appareil, quelques légères inexactitudes de projection admises par l'auteur pour simplifier la figure.

longtemps, et s'élève peut-être encore à près de 20,000 francs par an[a]. N° VI.

10. Le bec quadruple placé au foyer de notre lentille produit dans l'axe une lumière qui est une fois et trois quarts environ aussi vive que celle du maximum de l'éclat donné par les grands réflecteurs de M. Lenoir, dont la surface est cependant presque double de celle de la lentille[b]. Si donc on doublait la surface de cette lentille, en augmentant ses dimensions, comme je pense qu'il faudrait le faire dans le système de phare dont je propose l'exécution, on aurait une lumière trois fois et demie aussi intense que celle d'un grand réflecteur de M. Lenoir, dans son maximum d'éclat, et plus de quatre fois plus vive que le maximum d'éclat d'un grand réflecteur à double effet de M. Bordier-Marcet. Or, dans les phares à feux tournants où l'on emploie ces grands réflecteurs, on n'en dispose ordinairement que deux à la fois sur la même direction; ainsi le système lenticulaire présenterait deux fois plus de vivacité dans ses éclats que les autres phares.

11. Quant à la durée des éclats, nous pouvons déjà la comparer approximativement à celle de ces phares composés de huit grands réflecteurs, accouplés deux à deux. D'après nos expériences, l'étendue angulaire du cône lumineux réfléchi par le grand miroir parabolique de M. Lenoir entre deux intensités, qui doivent être à peu près les limites de l'éclat pour de grandes distances, étant de 7°,5, l'amplitude de celui que donne le grand réflecteur à double effet de M. Bordier-Marcet entre les mêmes limites est d'environ 7°,7, et l'amplitude du cône lumineux de la lentille armée du bec quadruple, 6°,6. Or comme dans le phare lenticulaire la circonférence serait divisée en

---

(a) Dans une première rédaction, raturée sur la minute, l'auteur disait : «Je pourrais «citer entre autres celui de la tour des Baleines [île de Ré], composé de douze petits réflec-«teurs à double effet de M. Bordier-Marcet, portant ensemble vingt-quatre becs de quin-«quet. Chacun de ces becs, comme nous nous en sommes assurés par des expériences réi-«térées, consomme 35 grammes d'huile par heure, quand il est en plein effet : or 24 fois «35 grammes font 840 grammes.»

(b) La petite lentille à zones polygonales dont il est ici question avait 55 centimètres en carré et 70 centimètres de foyer. [Voyez plus haut la note (a) de la page 75.]

N° VI. huit parties, et qu'ainsi il présenterait huit cônes lumineux tournés dans des directions différentes, tandis que les autres n'en présentent que quatre, il faut, pour comparer la durée des éclats, multiplier par 2 l'amplitude du cône lumineux produit par la lentille, ce qui donne 13°,2. Mais en faisant la lentille plus grande, comme je le propose, de manière à en doubler la surface, en lui faisant embrasser un angle de 45°, la distance focale, qui dans celle dont nous nous sommes servis est de $0^m,72$, sera pour la nouvelle de $0^m,9174$; et puisque l'amplitude du cône lumineux est égale à la largeur de l'objet éclairant divisée par la distance focale, cet objet éclairant conservant les mêmes dimensions, par hypothèse, cette augmentation de la distance focale diminue l'étendue de l'éclat dans la même proportion. Ainsi il faut diviser 13°,2 par le nombre fractionnaire $\frac{0,9174}{0,72}$, ce qui donne 10°,36. Ainsi l'on voit que la durée des éclats de la lentille sera encore supérieure d'un tiers environ à la durée des éclats des grands réflecteurs de M. Bordier-Marcet et de M. Lenoir. Je fais abstraction ici, bien entendu, quant aux réflecteurs à double effet, des feux divergents qu'ils produisent, et qui s'éparpillent, avec des intensités variables, dans un angle de près de 30°; car, à cause de leur extrême faiblesse, ils ne peuvent pas être considérés comme faisant partie de l'éclat, et me paraissent assez inutiles dans les phares à feux tournants, qui doivent avoir une grande portée.

12. Les résultats de nos expériences nous fournissent encore un moyen plus simple et plus précis de comparer les phares lenticulaires avec les autres. Nous avons mesuré l'intensité de la lumière envoyée par la lentille et par les différents réflecteurs que nous avons comparés, non-seulement dans l'axe, c'est-à-dire dans le point le plus brillant, mais encore dans les autres directions, jusqu'à deux limites d'intensité qui nous ont paru devoir être à peu près celles de l'éclat, et que nous avons eu soin de prendre les mêmes pour la lentille et les réflecteurs. Ensuite, multipliant chaque intensité partielle par le petit angle décrit correspondant, nous avons obtenu ainsi des nombres véritablement proportionnels à l'*effet utile* de chaque réverbère, c'est-

à-dire à la quantité totale de rayons lumineux qu'ils envoyaient dans l'œil du spectateur, pendant qu'on les faisait tourner. Or nous avons trouvé ainsi : pour la lentille armée du bec quadruple, 300; pour le réflecteur de M. Lenoir, 140, et 130 pour celui de M. Bordier-Marcet. Je présente ici en nombres ronds les moyennes des expériences. Si l'on double la surface de la lentille, son effet utile augmentera, non pas à la vérité dans le rapport de 2 à 1, mais dans celui de $\sqrt{2}$ à 1, comme il est facile de s'en rendre raison. Il faut donc multiplier 300 par $\sqrt{2}$, ce qui donne 424; d'où l'on voit que la somme des rayons rassemblés par chacune de ces lentilles dans le plan horizontal sera trois fois plus grande que celle des rayons réfléchis dans le même plan par les grands miroirs de M. Lenoir ou de M. Bordier-Marcet. N° VI.

13. Il me reste à parler du poids et du prix de ces lentilles. Leur largeur et leur longueur seraient de 76 centimètres, et leur épaisseur réduite de $25^{mm},5$ environ, en sorte que le volume de chacune en décimètres cubes serait à peu près de 14,73. Or le poids d'un décimètre cube de verre est de $2^{k},5$. Chaque lentille pèserait donc $36^{k},83$, ou environ 74 livres; ce qui ferait, pour les huit lentilles, 592 livres, non compris les cadres de cuivre qui ceindraient leurs contours et les pièces de fer qui les réuniraient à l'axe de rotation, mais qui ne pèseraient pas plus que dans les systèmes de huit réflecteurs.

On voit que le poids de ces lentilles, qui produiraient chacune l'effet de trois grands réflecteurs, ne serait pas plus considérable que celui des grands réflecteurs de M. Bordier-Marcet, qui pèsent aussi 74 livres, et sont cependant encore moins lourds que ceux de M. Lenoir.

14. Quant au prix, chacune de ces lentilles carrées de 76 centimètres de côté, et composée de cent morceaux, coûterait 1,000 francs, sans compter le cadre, qui ne serait pas sans doute l'objet d'une grande dépense. Ainsi le prix de ces lentilles ne dépasserait pas celui que l'administration payait, il n'y a pas longtemps encore, à M. Bordier-Marcet pour ses grands réflecteurs. Il y aurait par conséquent un avantage bien évident à les employer, puisque chaque lentille, ne coûtant guère plus qu'un grand réflecteur, produirait l'effet de trois.

N° VI. 15. Mais un autre avantage bien important des lentilles, c'est l'inaltérabilité du verre et la durée de son poli. Leur entretien serait presque nul, et leur nettoyage donnerait beaucoup moins de peine au gardien que celui des réflecteurs, qu'il faut frotter souvent avec du rouge d'Angleterre pour leur rendre leur éclat. Il résulterait de la position du bec de lampe, dont le centre serait éloigné des lentilles de 917^{mm},4, c'est-à-dire de près d'un mètre, qu'elles ne seraient point exposées aux taches d'huile comme les réflecteurs, qui portent les becs de lampe dans leur intérieur; en sorte que, le plus souvent, il suffirait de les épousseter avec un plumeau pour les nettoyer, et l'on aurait rarement besoin de les essuyer avec un linge. Ainsi elles conserveraient pendant très-longtemps toute la puissance d'effet qu'elles auraient en sortant de l'atelier de l'opticien [a]; tandis que les réflecteurs ne tardent pas à perdre une partie de leur poli, et que, le nettoyage de huit grands réflecteurs étant assez pénible, il doit arriver souvent que, par la négligence du gardien, ils n'ont pas tout le brillant dont ils sont encore susceptibles.

16. Je conclus donc en proposant à la Commission la construction d'un phare à feux tournants composé de huit lentilles carrées de 76 centimètres de côté, qui, avec un seul bec quadruple placé au centre de l'octogone, donneraient des feux d'une portée très-supérieure à celle des phares composés de huit grands réflecteurs de 84 à 78 centimètres d'ouverture.

Il résulterait nécessairement de l'égalité des huit lentilles, qui ne doivent laisser aucun intervalle entre elles, pour utiliser le plus possible la lumière du feu central, que les éclipses seraient égales. Le nouveau phare pourrait se distinguer des phares voisins, en adoptant

---

[a] Une expérience continue de près d'un demi-siècle a pleinement confirmé ces prévisions de l'inventeur.

une durée convenable pour l'intervalle de temps compris entre deux éclats consécutifs. Mais pour lui donner un caractère beaucoup plus distinctif, il suffirait de diviser deux de ces grandes lentilles chacune en deux autres dont les axes ne seraient plus séparés que par un intervalle angulaire de 22° 30', tandis que l'intervalle compris entre les axes de deux lentilles entières serait de 45°, et, entre une lentille entière et une demi-lentille, de 33° 45', ainsi que l'indique la figure 1 du tableau des diverses combinaisons de lentilles que j'ai l'honneur de soumettre à la Commission [a]. Alors, en supposant que la durée d'une révolution totale fût de huit minutes, les intervalles de temps compris entre les milieux de deux éclats consécutifs seraient successivement de 30, 45, 60, 60, 45, 30, 45, 60, 60 et 45 secondes. Le nouveau phare présenterait ainsi un caractère bien particulier par les inégalités régulières et périodiques de la durée de ses éclipses [b]. N° VI.

Si l'on fait l'essai du phare dont j'ai l'honneur de soumettre le projet à la Commission, je crois qu'il sera prudent de n'en pas confier l'éclairage à un entrepreneur, mais de le faire faire par régie, sous la direction de l'ingénieur de l'arrondissement, au moins pendant la première année; premièrement, parce que l'entrepreneur qui se chargerait de ce nouvel éclairage, ne sachant pas par expérience ce que le bec quadruple consomme d'huile dans une heure, porterait sans doute sa soumission très-haut, de peur de se méprendre à son désavantage; secondement, parce que des motifs d'intérêt ou de toute autre na-

---

[a] Voyez la planche III et ses annotations.

[b] Un appareil tournant à huit grandes lentilles fut exécuté pour le phare de Cordouan, d'après les dispositions décrites au Mémoire N° VIII, et remplaça, à dater du 20 juillet 1823, l'appareil à réflecteurs paraboliques de Borda et Lenoir. Quant aux diverses combinaisons de feux tournants figurées sur la planche III, la Commission ne crut pas evoir les adopter dans leur ensemble, attendu que, indépendamment de leur trop grande complication, elles n'offraient pas dans leurs effets des différences assez tranchées pour écarter sûrement toute chance de méprise.

N° VI. ture pourraient l'engager à empêcher le succès de cet essai, ou du moins à ne pas y apporter le zèle et l'attention dont les procédés nouveaux ont presque toujours besoin dans les commencements. Il faut que le gouvernement dirige lui-même l'expérience par ses agents, pour qu'il sache avec certitude à quoi s'en tenir sur les avantages ou les inconvénients attachés au service de ce nouveau système de phare; et si, comme je l'espère, on reconnaît que ce service est plus commode que celui des phares employés jusqu'à présent, on pourra, après une année d'expérience, en construire d'autres suivant le même système, et même en confier, si l'on veut, l'éclairage à des entrepreneurs[a].

J'avouerai néanmoins qu'il me paraîtrait toujours plus prudent, non-seulement pour ces phares, mais encore pour tous les autres, de ne point charger de cette direction un entrepreneur, dont les intérêts se trouvent alors en opposition avec ceux de la navigation, et dont le désir d'augmenter son bénéfice, ou seulement la moindre négligence dans le choix ou la surveillance de ses employés, peuvent être si funestes aux navigateurs[b].

---

[a] Le bail pour l'éclairage des phares n'a pas été renouvelé, et la seule fourniture de l'huile a été donnée à l'entreprise.

[b] La délibération à laquelle donna lieu le projet d'A. Fresnel se trouve résumée ainsi qu'il suit dans un registre tenu par M. Sganzin, comme rapporteur de la Commission des phares :

« 31 octobre 1820.

« M. l'ingénieur Fresnel fait part à la Commission des phares d'un projet d'appareil à feu « tournant composé de huit lentilles de 76 centimètres de côté. Ce nouvel appareil fait l'objet « d'un rapport très-détaillé sur les propriétés de ce nouveau système.

« La Commission, après avoir examiné et discuté ce rapport avec le plus grand intérêt, « en a adopté les conclusions.

« La Commission, prenant en considération le mauvais effet de l'éclairage du feu de Cor- « douan, dont l'état exige de grandes réparations (d'après les derniers renseignements fournis « par les navigateurs, on ne l'aperçoit très-souvent que de 3 à 4 lieues en mer), et qu'il im- « porte de porter la lumière à 10 lieues au moins, propose à M. le Directeur général de rem- « placer l'appareil actuel du phare de Cordouan par un appareil lenticulaire du système de « M. Fresnel, qui, indépendamment d'une grande supériorité de lumière, procurera une « économie considérable sur les frais d'entretien. »

N° VI.

NOTE I.

ESTIMATION APPROXIMATIVE DE LA DÉPENSE ANNUELLE QUE NÉCESSITERAIENT L'ÉCLAIRAGE ET L'ENTRETIEN DU SYSTÈME LENTICULAIRE.

Le bec quadruple placé au centre de ce système dépenserait par heure 800 grammes d'huile, dans les moments où sa combustion serait le plus active. La durée moyenne des nuits étant de dix heures, il en résulterait une consommation de 8 kilogrammes d'huile par nuit, et conséquemment de 2,920 kilogrammes dans une année, lesquels, à raison de 1 fr. 50 cent. le kilogramme, coûteraient.............	4,380 fr.
Pour les mèches, l'entretien de la lampe et des becs, 120 francs, ci	120
Deux gardiens payés chacun 600 francs par an, ci.............	1,200
Pour les objets nécessaires au nettoyage de la lanterne et du système lenticulaire, pour l'entretien de la machine de rotation et les dépenses imprévues, 800 francs, ci..................................	800
Dépense annuelle..........	6,500 fr.

L'éclairage et l'entretien du phare de la tour de Cordouan coûtent au gouvernement ou, du moins, coûtaient en 181. près de 20,000 francs. Si donc on remplaçait ce phare (qui paraît être en mauvais état et ne produire qu'un effet assez médiocre) par le système lenticulaire, on y trouverait, outre l'avantage d'un éclat très-supérieur, celui d'une économie considérable dans la dépense annuelle. Il est possible que je n'aie pas compris dans mon estimation quelques dépenses que j'ignore, et que nécessite la position particulière de la tour de Cordouan. Mais il n'est guère possible que ces augmentations de dépense s'élèvent à plus de 2,000 fr.; et en les portant même à 2,500 francs, l'éclairage et l'entretien annuels ne s'élèveraient qu'à 9,000 francs, ce qui n'est pas la moitié de ce que le gouvernement paye depuis longtemps pour le phare actuel [a].

[Suit cette annotation au crayon, de la main de l'auteur :]

Je n'ai pas fini, mais je n'ajouterai pas grand'chose.

---

[a] L'insistance que mettait Fresnel à faire ressortir l'avantage de son système d'éclairage, sous le rapport de l'économie *absolue*, s'explique par la pénurie du budget des phares à cette époque. L'économie *relative* était d'ailleurs incontestable, et en définitive les considérations financières devaient être subordonnées à des intérêts d'un tout autre ordre. Quant à cet aperçu de détail estimatif, il est presque superflu de faire remarquer qu'il avait été hasardé d'après des données fort incomplètes sur l'organisation et les exigences du service du phare de Cordouan.

N° VI.

NOTE II.

APPLICATION DES VERRES CONVEXES À UN PHARE À FEU FIXE [a].

Il faudrait que ces lentilles fussent courbes seulement dans le sens vertical et rectilignes dans le sens horizontal, pour laisser les rayons se distribuer également dans le plan horizontal; c'est-à-dire que leur surface devrait être cylindrique [b]. Huit lentilles [c] embrassant chacune 45° suffiraient pour éclairer uniformément tout l'horizon, et cinq pour en éclairer plus de la moitié. Ainsi, dans ce dernier cas, qui se présente souvent, l'achat des lentilles nécessaires ne coûterait que 5,000 fr.; tandis que, pour éclairer la même étendue angulaire, et d'une manière beaucoup moins uniforme, il faudrait sept grands réflecteurs à double effet, qui, à raison de 1,000 francs seulement chacun, coûteraient 7,000 francs. Si l'on voulait éclairer tout l'horizon, il en faudrait douze, et, en employant des lentilles cylindriques, on n'aurait besoin que de huit lentilles. On voit donc que, en supposant toujours le prix des lentilles égal à celui des réflecteurs, le système lenticulaire n'exigerait que les deux tiers de la dépense que nécessiterait l'autre.

Le principal avantage qu'il présente, c'est de distribuer uniformément la lumière dans le plan horizontal; tandis que les réflecteurs paraboliques, même à double effet, la répandent très-inégalement dans les différentes directions. A 2 degrés de l'axe, elle a déjà moitié moins d'intensité que dans l'axe; à 4 ou 5 degrés, dix fois moins, et dans les 10 degrés suivants, qu'éclairent les feux obliques, son in-

---

[a] Au-dessus du titre se lit, sur le manuscrit autographe, cette apostille au crayon : *Ne pas copier ce dernier article.*

La suppression d'un appendice aussi important, où se trouve sommairement indiqué le programme suivi depuis par Fresnel dans la composition de ses appareils dioptriques à feu fixe, s'explique par l'idée, à laquelle s'était d'abord attachée la Commission des phares, d'appliquer exclusivement les feux changeants à l'éclairage des côtes maritimes. [Voyez N° VIII, § 40.] Mais un plus mûr examen conduisit bientôt à reconnaître la nécessité de faire alterner les feux tournants avec des feux fixes, pour écarter plus sûrement les chances de méprise.

[b] Eu égard au défaut d'équipages mécaniques pour la taille de ces éléments optiques sous forme annulaire.

[c] Il doit être entendu que chacun des huit panneaux aurait été divisé en plusieurs pans verticaux, de manière que leur ensemble formât un système prismatique régulier à facettes assez multipliées pour distribuer la lumière à peu près uniformément sur l'horizon, dans l'espace angulaire à éclairer.

tensité ne doit plus être que le quinzième environ de celle qui est réfléchie dans l'axe. Les lentilles cylindriques éclairées avec le bec quadruple présenteraient au contraire dans tous les sens la même intensité de lumière, qui ne serait, à la vérité, que la moitié environ du maximum de lumière que donnent les grands réflecteurs à double effet de M. Bordier-Marcet. Ainsi ces réflecteurs seraient plus brillants que les lentilles jusqu'à 9 degrés de leur axe; mais dans le reste de l'espace que chacun éclaire ordinairement, c'est-à-dire dans les 12 degrés suivants, le système lenticulaire l'emporterait et de beaucoup sur les réflecteurs à double effet [a]. Il aurait d'ailleurs un aspect particulier, qui pourrait aider à distinguer le phare, même de très-loin, lorsqu'on l'observerait avec une lunette : il présenterait de tous les côtés une ligne de feu verticale, ayant dix fois plus de hauteur que de largeur. N° VI.

---

[a] Voyez, sur les réflecteurs à *double effet* de Bordier-Marcet, la Note N° II (B).

N° VII.

N° VII.

PROCÈS-VERBAL

DES OBSERVATIONS FAITES À CHÂTENAY,

À 13,000 TOISES DE L'ARC DE TRIOMPHE DE L'ÉTOILE,

DANS LA NUIT DU 7 AU 8 SEPTEMBRE 1821.

SUR LE PHARE LENTICULAIRE À FEUX TOURNANTS

DE L'INVENTION DE M. AUGUSTIN FRESNEL,

INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES [*].

FEU FIXE.

Le premier feu du phare a été aperçu à 8 heures 10 minutes et n'a disparu qu'à 8 heures 40 minutes, après avoir présenté dans l'intervalle divers

---

[*] Ce procès-verbal, rédigé par M. Schwilgué, alors élève ingénieur des ponts et chaussées, nous a paru devoir figurer à plus d'un titre dans notre publication. Il fixe en effet une date importante, celle du premier essai d'un phare lenticulaire tournant, et a de plus été apostillé par A. Fresnel de deux notes, dont la seconde surtout était à conserver.

Le programme de l'expérience ne s'est pas retrouvé, mais on peut inférer du croquis, ainsi que des observations de M. Schwilgué : 1° que l'appareil tournant de premier ordre installé sur l'arc de triomphe de l'Étoile était composé, dans sa partie principale, de six grandes lentilles et de quatre demi-lentilles, les premières destinées à former les éléments d'un prisme octogonal régulier, et les autres, les éléments d'un prisme à seize pans égaux; 2° que la couronne additionnelle de petites lentilles et de miroirs plans n'était pas complète; 3° que les grandes lentilles n'avaient pas une égale puissance, les unes (premiers essais de la fabrication) étant à zones *polygonales* et les autres composées de zones *annulaires*.

Le village de Châtenay, où étaient placés les observateurs, est situé dans le département de Seine-et-Oise, à 24.500 mètres au N. 29° 1' E. de l'arc de l'Étoile.



N° VII. degrés d'intensité, dus aux légers mouvements de rotation qui lui étaient imprimés; nous savions qu'il provenait d'une des grandes lentilles. A 8 heures 38 minutes, il nous parut être à son maximum et il surpassait alors de beaucoup en diamètre apparent et en clarté la planète de Jupiter, à laquelle nous avons pu le comparer; mais il était légèrement rougeâtre. D'après la déclaration de M. Harel, propriétaire de la maison où diverses observations sur les phares ont été faites précédemment, ce feu était beaucoup plus brillant qu'aucun de ceux qu'on ait encore essayés; cependant la lune approchait de son plein, et se tenait dans la partie du ciel où nous apparaissait le phare. Dans les deux ou trois dernières révolutions que fit celui-ci, elle s'en approcha jusqu'à près de 30°, ce qui est une des causes de la diminution que nous remarquâmes dans l'éclat des feux, vers la fin de nos observations.

Le brouillard répandu sur l'horizon, qui s'élevait et augmentait graduellement, contribuait de son côté à diminuer l'éclat, en donnant aux feux une teinte rougeâtre qui se renforçait de plus en plus(1). Mais, quelle qu'ait été l'influence de ces deux circonstances, les résultats que nous avons obtenus à une distance de 13,000 toises ont encore été extrêmement satisfaisants, et ils prouvent que, pour des distances beaucoup plus considérables, les feux des grandes lentilles serviront toujours d'une manière très-avantageuse.

TABLEAU DES FEUX TOURNANTS.

Nos observations ont été faites au moyen d'un chronomètre de M. Bréguet. Elles n'ont été régulières qu'à partir de 8 heures 46 minutes 14 secondes, moment où le phare a commencé à tourner; et elles ont été prolongées tant que les feux ont été visibles, c'est-à-dire pendant un intervalle de 1 heure

(1) L'affaiblissement de la lumière dans la dernière révolution avait encore une autre cause que l'augmentation du brouillard : je n'avais pas rempli le réservoir de la lampe, et j'avais même négligé de m'assurer de la quantité d'huile qui s'y trouvait. Je me suis aperçu, 6 ou 7 minutes avant 10 heures, que l'huile manquait, et je cherchais, en haussant les mèches, à faire durer jusqu'à 10 heures le feu, qui ne devait être éteint qu'à 10 heures 15 minutes, d'après le programme; mais les flammes dont je prolongeais ainsi l'existence devenaient de plus en plus rougeâtres par le défaut d'huile. Je n'ai éteint le bec qu'à 10 heures. [Note d'A. Fresnel.]

13 minutes 13 secondes. Nous en transcrivons ici le tableau conforme à notre minute (*). N° VII.

Le retour périodique des différents feux que présentait le phare nous a permis d'assigner l'ordre des lentilles qui les ont produits; c'est ainsi que nous avons formé la première colonne, et que nous avons trouvé que la durée moyenne d'une révolution du phare était de 9 minutes et une demi-seconde.

FAUX ÉCLATS.

Ce tableau fait voir une chose très-remarquable, c'est l'existence de feux particuliers qui n'avaient point été prévus et qui résultent peut-être de la disposition intérieure du phare. Leur nombre a été très-variable dans les diverses révolutions; nous en avons compté jusqu'à dix dans la cinquième. Dans les dernières ils ont entièrement disparu, sans doute à cause de l'affaiblissement de la lumière.

On ne peut rien énoncer de général sur l'ordre dans lequel ils se succèdent; on remarque seulement qu'il ne s'en est jamais placé entre les deux feux provenant des petites lentilles. Les petites secousses qu'a dû éprouver le phare pendant qu'on le faisait tourner sont sans doute une cause de ce défaut de régularité; d'ailleurs nous nous rappelons aussi avoir laissé échapper quelques-uns de ces feux sans avoir eu le temps de les noter.

Leur durée est variable depuis 1 seconde jusqu'à 5 secondes, et la moyenne est de 3 secondes. On ne peut y remarquer aucun maximum; leur éclat est comparable à celui d'une étoile de 4e ou de 3e grandeur (I).

(I) Les *faux éclats* remarqués à Châtenay et à l'Observatoire sont occasionnés par la réflexion des vrais éclats sur les glaces de la lanterne. Comme ils ne doivent avoir à peine que le vingtième d'intensité des vrais éclats, je n'aurais jamais pensé qu'ils pussent être aperçus à une distance de 13,000 toises, surtout par un clair de lune. Cela doit donner une haute idée de l'intensité des véritables éclats.

Ces éclats réfléchis pourraient occasionner des méprises si les marins les comp-

---

(*) Nous avons cru inutile de reproduire ce long tableau, dressé d'ailleurs avec tout le soin qu'on pouvait attendre d'un habile et consciencieux observateur.



N° VII.

DURÉE DES ÉCLATS COMPARÉE À CELLE DES ÉCLIPSES.

En nous attachant aux cinq premières révolutions, qui ont entre elles le plus de conformité, nous trouvons, pour la somme totale des durées des éclats d'une de ces révolutions, en terme moyen.......................... $2^m\ 29^s \frac{1}{2}$
et pour la somme des durées des éclipses.................... $6^m\ 31^s$
ce qui donne à peu près le rapport de 1 à 2,6.

En ajoutant entre eux les faux éclats de chaque révolution, et excluant la première, où il en a été évidemment omis un très-grand nombre, on trouve, pour moyenne entre les 2ᵉ, 3ᵉ, 4ᵉ et 5ᵉ, 23 secondes; ce qui montre que ces feux étrangers équivalent ensemble en durée à la sixième partie des feux principaux.

---

taient avec les éclats directs, malgré la grande supériorité de ceux-ci. Mais le remède est facile : il suffira d'incliner de 1 ou 2 degrés les glaces de la lanterne situées à la hauteur des lentilles, pour faire plonger les faux éclats dans la mer, à une demi-lieue ou à une lieue du phare, où ils présenteront quelque utilité et ne pourront plus tromper les navigateurs.

Il résulte de l'observation faite à Châtenay que la durée de l'éclat d'une grande lentille augmentée par une petite lentille additionnelle est au moins de 20 secondes, à une distance de 13,000 toises, quand la durée de la révolution entière est de 9 minutes ou 540 secondes, et même dans des circonstances assez défavorables, puisqu'il y avait clair de lune et un peu de brouillard. Si l'on considère un phare composé de huit grandes lentilles, tel que celui dont M. le directeur général a ordonné la construction pour Cordouan, l'intervalle entre les milieux de deux éclats consécutifs sera le huitième de 540 secondes, ou 67 secondes $\frac{1}{2}$, en supposant que la révolution entière se fait encore en 9 minutes; et si l'on retranche 20 secondes de 67 secondes $\frac{1}{2}$, on aura 47 secondes $\frac{1}{2}$ pour la durée de l'éclipse, qui ne sera guère que le double de celle de l'éclat. Ce résultat est extrêmement supérieur à celui qu'ont donné jusqu'à présent les appareils de réflecteurs de M. Lenoir, et même ceux de M. Bordier-Marcet, dans lesquels les éclipses sont toujours au moins cinq fois aussi longues que les éclats. Ainsi l'appareil lenticulaire qui doit être placé à Cordouan, étant construit dans ce système, c'est-à-dire composé de huit grandes lentilles annulaires et de huit petites lentilles additionnelles, présentera à la fois aux marins des éclats très-brillants et d'une longue durée. [Note d'A. FRESNEL.]

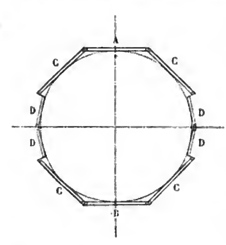
Si l'on supprimait ces faux feux (ce qu'on cherchera sans doute à faire pour les phares que l'on construira par la suite), on trouverait, pour la durée des éclats principaux, en terme moyen.......................... 2m 6s ½ N° VII.
et pour celle des éclipses.................................. 6m 54s
nombres qui sont dans le rapport de 1 à 3,3.

GRANDS FEUX.

La durée moyenne des grands feux (A), par lesquels commence chaque révolution, est de 24 secondes.

Les grands feux intermédiaires (B) n'ont pour durée moyenne que 20 secondes.

On a toujours observé une légère diminution dans l'éclat des premiers feux (A) quelques secondes après leur commencement, c'est-à-dire au moment où le feu supplémentaire se reliait avec le feu principal.



L'intensité de ces grands feux (A et B) a paru la même, et le maximum pour les uns et les autres est placé de la même manière relativement à la fin des éclats. Le tableau donne 5 secondes pour l'intervalle moyen qui sépare ces deux époques, ce qui ne fait que le quart de la durée totale; mais on peut observer que les nombres que nous avons inscrits n'ont été pris que dans les moments où les éclats avaient diminué d'une manière sensible; et alors ils étaient déjà loin de leur maximum.

MOYENS FEUX.

La durée des moyens feux produits par les lentilles (C) est généralement de 10 secondes. Ces feux sont extrêmement vifs; ils surpassent encore l'éclat de Jupiter, et ont cela de remarquable qu'ils atteignent leur maximum immédiatement après leur commencement, et le conservent presque jusqu'à la fin.

PETITS FEUX.

Les feux provenant des lentilles (D) ont une durée moyenne un peu infé-

N° VII. rieure à 10 secondes. Leur éclat est encore très-vif sans cependant égaler celui des feux (C).

DISPOSITION DES LENTILLES.

En considérant les milieux des différents feux, on peut former le tableau suivant pour les intervalles qui les séparent; et, en se rappelant que la durée moyenne d'une révolution est de 9 minutes et une demi-seconde, on reconnaît aisément que les divisions de ce tableau répondent aux divisions circulaires qu'on a dû adopter pour l'emplacement respectif de chacune des dix lentilles du phare.

TABLEAU DES INTERVALLES

QUI SÉPARENT LES MILIEUX DES FEUX PRINCIPAUX DU PHARE.

DÉSIGNATION.	DURÉE.
De A en C	$1^m\ 7^s \frac{1}{2}$
De C en D	52
De D en D	31
De D en C	52
De C en B	$1\ \ 7 \frac{1}{2}$
De B en C	$1\ \ 7 \frac{1}{2}$
De C en D	52
De D en D	31
De D en C	52
De C en A	$1\ \ 7 \frac{1}{2}$
TOTAL	$9^m\ 0^s$

Ce procès-verbal a été dressé par l'élève ingénieur des ponts et chaussées soussigné.

Paris, le 12 septembre 1821.

SCHWILGUÉ.

VIII.

NOUVEAU SYSTÈME DE PHARES.

N° VIII (A).

MÉMOIRE

SUR

UN NOUVEAU SYSTÈME D'ÉCLAIRAGE

DES PHARES[a],

LU À L'ACADÉMIE DES SCIENCES LE 29 JUILLET 1822.

1. Il existe depuis plusieurs années une Commission des phares, dont les membres ont été choisis parmi les savants les plus distingués

[a] Voici le seul écrit de quelque étendue où Fresnel ait exposé et discuté son nouveau système de phares, au double point de vue théorique et pratique. Mais ce Mémoire capital, publié cinq ans avant la mort de l'auteur, qui, jusqu'à ses derniers moments, ne cessa de développer et de perfectionner sa brillante création, n'en peut donner qu'une idée très-incomplète. Il demanderait un Supplément ayant spécialement pour objet :

1° La composition des *appareils dioptriques à feu fixe*, que la Commission des phares avait écartés de son premier programme et dont il n'est qu'incidemment question au paragraphe 40 ;

2° Les appareils à *feu fixe varié par des éclats ;*

3° La substitution de *zones étagées ou conoïdes de miroirs concaves* à l'embarrassant équipage accessoire de *lentilles additionnelles avec miroirs plans ;*

4° Enfin l'ingénieuse combinaison qui a couronné l'œuvre, en remplaçant avec tant d'avantage ces deux systèmes accessoires par des *anneaux de verre,* disposés et profilés de

N° VIII (A). et les inspecteurs du Corps royal des ponts et chaussées[a]. Chargés de présenter un projet général de la distribution des phares sur les côtes de France, ils avaient dû chercher d'abord si le système d'éclairage adopté n'était pas susceptible de quelques perfectionnements. Ils avaient déjà fait plusieurs observations intéressantes sur la vivacité de la lumière que produisent de petites mèches placées dans les grands réflecteurs de M. Lenoir; mais les fonctions que la plupart d'entre eux ont à remplir ne leur permettant pas de donner à ces recherches le temps qu'elles exigeaient, en 1819 M. Arago leur offrit de se charger des expériences, en demandant que M. Mathieu et moi lui fussions adjoints. Cette proposition, adoptée par la Commission, fut soumise à M. Becquey, directeur général des ponts et chaussées et des mines, qui l'approuva également[b] et me recommanda d'apporter tous mes soins à ces recherches. Le désir de justifier sa confiance et celle de la Commission des phares contribua, autant que l'importance même de l'objet, à diriger toutes mes pensées de ce côté.

2. Je songeai, dès le commencement, à substituer de grandes lentilles de verre aux réflecteurs paraboliques. On sait qu'une lentille, comme un miroir parabolique, a la propriété de rendre parallèles les rayons partis de son foyer; elle produit par réfraction l'effet que le miroir parabolique produit par réflexion. Cette application des lentilles à l'éclai-

---

manière à recueillir et *réfléchir totalement* sur l'horizon les rayons focaux divergeant au-dessus et au-dessous du tambour dioptrique central.

Afin de suppléer à cet appendice sans outre-passer les limites de notre rôle d'éditeur, nous avons compulsé les manuscrits de notre auteur, et spécialement ses *Registres de Calculs et d'Expériences*, ainsi que sa *Correspondance administrative*, pour leur emprunter divers extraits, notamment ceux que nous produisons ci-après, dans leur ordre chronologique, sous les numéros XV, XVI, XVII, XVIII, XIX et XXI. Nous avons d'ailleurs réservé pour l'Introduction le résumé des diverses combinaisons optiques à l'aide desquelles Augustin Fresnel parvint à porter à un si haut degré de perfection théorique le système de phares auquel il a attaché son nom.

[a] L'institution de la Commission des phares remonte à 1811, et fut provoquée par le comte Molé, alors directeur général des ponts et chaussées et des mines.

[b] Par décision du 21 juin 1819.

rage des phares ne pouvait être une idée nouvelle, car elle vient trop aisément à la pensée, et il existe en effet un phare lenticulaire en Angleterre; mais il paraît qu'il a peu d'éclat, ce qui tient probablement à la grande épaisseur des lentilles employées, qui est de 20 centimètres, et peut-être aussi à la disposition générale de l'appareil, sur laquelle je n'ai pas de renseignements précis[a]. N° VIII (A).

3. Si l'épaisseur des lentilles n'excédait pas l'épaisseur ordinaire des glaces, la lumière absorbée par le verre ne serait qu'une très-petite partie de celle qui le traverse : la perte résultant de la réflexion partielle des rayons aux deux surfaces n'est que d'un vingtième, d'après les expériences de Bouguer; et, en la supposant même d'un douzième, on voit combien peu la lumière serait affaiblie par son passage au travers de ces lentilles, et quels avantages elles auraient à cet égard sur les meilleurs réflecteurs métalliques, qui absorbent la moitié de la lumière sous des incidences peu obliques, telles que celles de la majeure partie des rayons dans les miroirs paraboliques. C'est cette réflexion qui m'avait donné l'espoir d'apporter une économie notable dans l'emploi de la lumière, en substituant des lentilles aux miroirs paraboliques.

4. Des liquides bien transparents, tels que l'eau et l'esprit-de-vin, n'absorbent qu'une faible partie de la lumière qui les traverse, même sur une longueur de 20 à 30 centimètres; et l'on aurait pu songer à appliquer aux phares les grandes lentilles que l'on fait avec deux verres bombés entre lesquels on introduit un liquide. Mais, outre que le poids énorme de ces lentilles aurait beaucoup fatigué le mécanisme qui fait tourner l'appareil dans les phares à éclipses, le séjour prolongé des liquides entre ces verres bombés aurait fini par les salir intérieurement, et il aurait été très-difficile de les nettoyer. Le mastic servant à luter leurs bords aurait pu d'ailleurs se dégrader en quelques

---

[a] Il s'agit ici du phare de Portland, où l'on avait essayé une combinaison de miroirs concaves et de lentilles de verre. — Voyez à ce sujet (sur lequel nous n'avons pu recueillir, comme notre auteur, que d'assez vagues indications) le passage précité [N° VI, p. 73, note (b)] d'un article de sir David Brewster sur les *Phares Britanniques*, inséré dans le numéro CXV de la *Revue d'Édimbourg*.

N° VIII (A). points et donner passage au liquide. Il était donc beaucoup plus sûr de n'employer que des matières solides.

5. Il était nécessaire aussi, pour ne pas perdre une trop grande partie des rayons émis par la lumière placée au foyer, que chaque lentille embrassât tous ceux qui sont compris dans un angle de 45°, ce qui exige que l'angle prismatique du verre au bord de la lentille ait 40°. On voit quelle épaisseur en résulterait au centre, si la lentille était terminée par une surface sphérique continue. Cette grande épaisseur aurait le double inconvénient d'affaiblir beaucoup la lumière qui la traverserait, et de donner à la lentille un poids trop considérable.

6. Mais si l'on divise celle-ci en anneaux concentriques, et qu'on ôte à la petite lentille du centre et aux anneaux qui l'entourent toute la partie inutile de leur épaisseur, en leur en laissant seulement assez pour qu'ils puissent être solidement unis par leurs bords les plus minces, on conçoit qu'on peut également obtenir le parallélisme des rayons émergents partis du foyer, ou, ce qui revient au même, la réunion au foyer des rayons incidents parallèles à l'axe de la lentille, en donnant à la surface de chaque anneau la courbure et l'inclinaison convenables.

7. C'est Buffon qui a imaginé le premier les lentilles à échelons, pour augmenter la puissance des verres ardents en diminuant leur épaisseur; mais, d'après ce qu'il dit sur ce sujet, il est évident qu'il proposait de les faire d'un seul morceau de verre, ce qui rend leur exécution presque impossible, surtout dans de grandes dimensions, à cause de la difficulté d'user le verre et d'en doucir et polir la surface lorsqu'elle présente de pareils ressauts. Voici comme il s'exprime :

« J'ai donc cherché les moyens de parer à cet inconvénient (celui « de la trop grande épaisseur), et j'ai trouvé une manière simple et « assez aisée de diminuer réellement les épaisseurs des lentilles autant « qu'il me plaît, sans pour cela diminuer sensiblement leur diamètre « et sans allonger leur foyer.

« Ce moyen consiste à travailler ma pièce de verre par échelons. « Supposons, pour me faire mieux entendre, que je veuille diminuer

« de 2 pouces l'épaisseur d'une lentille de verre qui a 26 pouces de diamètre, 5 pieds de foyer et 3 pouces d'épaisseur au centre : je divise l'arc de cette lentille en trois parties, et je *rapproche concentriquement* chacune de ces portions d'arc, en sorte qu'il ne reste que 1 pouce d'épaisseur au centre, et je forme de chaque côté un échelon d'un demi-pouce, pour rapprocher de même les parties correspondantes. Par ce moyen, en faisant un second échelon, j'arrive à l'extrémité du diamètre, et j'ai une lentille à échelons qui est à peu près du même foyer, et qui a le même diamètre et près de deux fois moins d'épaisseur que la première ; ce qui est un très-grand avantage. N° VIII (A).

« *Si l'on vient à bout de fondre une pièce de verre de 4 pieds de diamètre sur 2 pouces 1/2 d'épaisseur*, et de la travailler par échelons sur un foyer de 8 pieds, j'ai supputé que, en laissant même 1 pouce 1/2 d'épaisseur au centre de cette lentille et à la couronne intérieure des échelons, la chaleur de cette lentille sera à celle de la lentille du Palais-Royal comme 28 sont à 6, sans compter l'effet de la différence des épaisseurs, qui est très-considérable, et que je ne puis estimer d'avance.

« Cette dernière espèce de miroir réfringent est tout ce qu'on peut faire de plus parfait en ce genre ; et quand même nous le réduirions à 3 pieds de diamètre sur 15 lignes d'épaisseur au centre et 6 pieds de foyer, ce qui en rendra l'exécution moins difficile, on aurait toujours un degré de chaleur quatre fois au moins plus grand que celui des plus fortes lentilles que l'on connaisse. J'ose dire que ce miroir à échelons serait un des plus utiles instruments de physique ; *je l'ai imaginé il y a plus de vingt-cinq ans*, et tous les savants auxquels j'en ai parlé désireraient qu'il fût exécuté : on en tirerait de grands avantages pour l'avancement des sciences ; et, y adaptant un héliomètre, on pourrait faire à son foyer toutes les opérations de la chimie aussi commodément qu'on les fait au feu des fourneaux, » etc. [a]

---

[a] *Histoire des minéraux*, partie expérimentale, sixième Mémoire (t. IV, p. 116, des Œuvres complètes de Buffon, éd. de Richard et Cuvier).

N° VIII (A). 8. Cette citation prouve suffisamment que Buffon n'avait pas songé à composer les lentilles à échelons de plusieurs morceaux, puisqu'il fait dépendre leur construction de la fonte *d'une pièce de verre de 4 pieds de diamètre sur 2 pouces 1/2 d'épaisseur*, qu'il suppose ensuite réduite à *3 pieds de diamètre sur 15 lignes d'épaisseur, pour rendre l'exécution plus facile.* Or, en faisant ces lentilles de plusieurs morceaux, il est aussi facile d'en construire une de 4 pieds de diamètre qu'une de 3, et même en leur donnant un foyer beaucoup plus court que ne le supposait Buffon. On conçoit aisément pourquoi *vingt-cinq ans après* avoir inventé ces lentilles et malgré son vif désir d'en posséder une, le même savant qui avait créé ce beau miroir d'Archimède, dont la construction était plus compliquée et plus dispendieuse, n'avait pu faire exécuter une lentille à échelons de 3 pieds de diamètre; c'est qu'il n'avait pas pensé à la faire de plusieurs morceaux[1].

9. Il n'avait pas fait attention non plus, à ce qu'il paraît, à un grand avantage que présente l'exécution séparée de la surface de chaque anneau, qui est de corriger presque entièrement l'aberration de sphéricité, quand les anneaux sont suffisamment multipliés, en déterminant par le calcul le centre et le rayon de courbure de chacun des arcs générateurs; car, après avoir conçu d'abord la lentille terminée par une même surface sphérique, il suppose qu'on déprime celle-ci par échelons, mais de manière que les nouvelles portions de surfaces sphériques soient *concentriques* à la première; ce qui n'est point le véritable moyen de corriger l'aberration de sphéricité. Le calcul apprend que les arcs générateurs des anneaux non-seulement ne doivent pas avoir le même centre, mais encore que ces différents centres ne sont pas situés sur l'axe de la lentille, et qu'ils s'en éloignent d'autant plus que les arcs auxquels ils appartiennent sont eux-mêmes plus éloignés du centre de la lentille; en sorte que ces arcs, en tournant autour de l'axe, n'engendrent pas des portions de surfaces sphériques concentriques,

[1] M. Charles a entendu dire à Rochon qu'il avait vu une petite lentille à échelons, de 12 à 15 pouces de diamètre et d'un seul morceau de verre, provenant du cabinet de Buffon.

mais des surfaces du genre de celles que les géomètres appellent *annulaires*.

10. On s'étonnera peut-être que j'insiste autant sur des réflexions si simples. Il était sans doute bien aisé de songer à composer les grandes lentilles de plusieurs morceaux et de déduire des lois ordinaires de la réfraction la forme la plus convenable à donner à la surface de chaque anneau. Mais il était tout aussi facile d'imaginer les lentilles à échelons, comme je le sais par ma propre expérience; car je ne connaissais pas ce que Buffon avait publié sur ce sujet, lorsque je proposai pour la première fois à la Commission des phares la construction de pareilles lentilles. C'est M. Charles qui m'avertit que cette invention n'était pas nouvelle, et qui me montra le chapitre du Supplément à l'*Histoire naturelle* où il en est question. Ayant ainsi perdu une partie de ce que j'avais imaginé, on m'excusera d'apporter quelque soin à conserver le peu qui me reste, surtout quand c'est précisément ce qui rend l'invention exécutable en grand [a].

11. Il ne m'a pas fallu de longues réflexions pour songer à faire des lentilles à échelons et à les composer de plusieurs morceaux; ces idées sont si simples qu'elles viennent promptement à la pensée. Ce qui m'a le plus occupé, ce sont les moyens d'exécution, pour lesquels j'ai été

---

[a] Fresnel, qui n'inventait qu'après Buffon les lentilles à échelons, avait également été devancé par Condorcet quant à la double idée de les rendre exécutables par la séparation de leurs éléments concentriques, et de profiter de cette décomposition pour corriger l'aberration de sphéricité, comme le prouve le passage précité de l'Éloge académique de Buffon. [N° VI, p. 75, note (b).]

Ne pouvant traiter ici avec les développements nécessaires les questions de priorité soulevées par la publication du présent Mémoire, nous nous référons de nouveau au précis historique que comprend à ce sujet notre Introduction. Nous croyons seulement devoir insister sur cette observation, que sir David Brewster paraissait avoir particulièrement fondé ses prétentions au titre d'inventeur des phares lenticulaires sur sa priorité incontestée dans l'idée d'un système mixte accessoire de lentilles avec miroirs plans, système embarrassant qu'Augustin Fresnel finit par abandonner, pour y substituer successivement deux combinaisons plus simples et plus efficaces, d'abord des zones étagées de miroirs concaves, puis, en dernier lieu, des anneaux de verre à réflexion totale.

N° VIII (A). parfaitement secondé par le zèle et l'intelligence de M. Soleil, opticien, qui a courageusement entrepris la construction de ces grandes lentilles.

Les surfaces sphériques étant les seules qu'on puisse exécuter dans des bassins, par les procédés ordinaires, j'ai d'abord divisé chaque anneau en un assez grand nombre de morceaux, et j'ai calculé la courbure et l'inclinaison de la petite portion de surface sphérique que je substituais à la partie correspondante de la surface annulaire, de manière que l'aberration de sphéricité fût la moindre possible dans tous les sens; calculs plus longs et plus fastidieux encore que ceux qu'il faut faire pour déterminer les éléments des surfaces annulaires. J'espérais dès lors arriver à l'exécution de celles-ci; mais, pour avoir plus tôt une grande lentille qui pût servir à nos expériences sur l'éclairage des phares, il fallait employer les moyens d'exécution que M. Soleil avait à sa disposition. C'est ce qui me décida à substituer, pour le moment, à chaque surface annulaire un assemblage de petites portions de surfaces sphériques, et même à donner aux contours des anneaux une forme polygonale et non pas circulaire, parce qu'il était plus commode de travailler les morceaux de verre en lignes droites qu'en arcs de cercle.

12. Pour réunir toutes les pièces qui devaient composer une lentille, j'avais songé d'abord à les fixer sur une glace, au moyen de la térébenthine de Venise épaissie, que M. Cauchois a employée avec succès au collage de ses objectifs de lunette, et qui n'est pas sujette à se piquer à la longue, comme le mastic en larmes. Mais l'expérience m'a appris que la chaleur du soleil la ramollissait au point de la faire couler par les joints. J'aurais pu, à la rigueur, empêcher son écoulement en fermant les joints avec du mastic. Néanmoins il m'a paru préférable de coller les morceaux de verre les uns aux autres par les bords avec de la colle forte, parce que de cette manière la transparence de la lentille devenait indépendante des altérations ultérieures de la matière qui les soudait. Au lieu de colle de Flandre, nous avons employé, d'après le conseil de M. Arago, la colle de poisson, dont il avait

N° VIII (A).

eu occasion de remarquer la forte adhérence au verre, en essayant inutilement de séparer, dans l'eau bouillante, deux prismes qu'elle tenait réunis. Ce n'est pas que la colle forte ordinaire n'adhère aussi beaucoup au verre, et il arrive même souvent, lorsqu'on l'enlève sans précaution, qu'on emporte avec elle de petits éclats de verre; mais la colle de poisson, qui probablement possède cette qualité à un plus haut degré encore, a en outre l'avantage d'être plus belle et surtout moins cassante.

13. Au lieu de donner deux surfaces courbes aux morceaux de verre dans l'épure de la lentille, je les fis plans-convexes, pour en simplifier l'exécution et rendre leur collage plus facile; on pouvait alors les poser par le côté plan sur une table de marbre recouverte d'une feuille de papier, et les y laisser pendant tout le temps nécessaire pour sécher la colle : il serait au contraire assez embarrassant de coller bord à bord à la fois un grand nombre de verres biconvexes.

14. En suivant le procédé que je viens d'indiquer, M. Soleil parvint assez facilement à construire une grande lentille carrée de 76 centimètres de côté[a]; sa forme et ses dimensions avaient été déterminées de manière qu'elle pût faire partie de l'appareil d'éclairage que j'avais conçu, lequel devait surpasser de beaucoup l'éclat des phares les plus brillants, comme nous nous en étions assurés, M. Arago, M. Mathieu et moi, par des expériences préliminaires sur une lentille plus petite ayant seulement $0^{m},55$ en carré.

15. Aussitôt que l'expérience eut démontré à la Commission des phares les avantages de ce nouveau système d'éclairage, M. Becquey, après s'être assuré par lui-même de l'extrême supériorité d'éclat que la grande lentille avait sur les miroirs paraboliques, ordonna la construction d'un appareil composé de huit lentilles pareilles. J'engageai M. Soleil à essayer d'en faire une à surfaces annulaires, au lieu de composer chaque anneau de petites portions de surfaces sphériques.

---

[a] Voyez, à la planche I, le dessin de cette grande lentille polygonale échelonnée, que l'on conserve au dépôt central des phares.

N° VIII (A). J'attachais beaucoup d'importance à ce perfectionnement, non-seulement pour les phares, mais surtout pour les verres ardents, dans lesquels il est encore plus essentiel de corriger complétement l'aberration de sphéricité. J'indiquai dès lors à M. Soleil le procédé mécanique auquel il s'est depuis arrêté définitivement, et qu'il emploie maintenant avec beaucoup de succès.

16. Dans l'exécution des lentilles destinées à l'éclairage des phares, il ne s'agit pas d'atteindre à une grande perfection; mais néanmoins la substitution des surfaces annulaires à un assemblage de petites portions de surfaces sphériques produit une augmentation sensible de l'intensité de la lumière reçue dans la direction de l'axe de la lentille. D'ailleurs les procédés mécaniques par lesquels on exécute les surfaces annulaires permettent d'apporter beaucoup plus de célérité dans la confection de ces grandes lentilles que lorsqu'on était obligé de travailler séparément dans des bassins les quatre-vingt-dix-sept morceaux dont chaque lentille polygonale était composée. Le nombre n'en aurait pu être diminué sans augmenter en même temps l'aberration de sphéricité; tandis que, dans les lentilles annulaires, il n'y a aucun inconvénient à diminuer le nombre des morceaux qui composent chaque anneau. Il y aurait même de l'avantage à le faire d'une seule pièce si on le pouvait[a]; car la multiplicité de ces divisions occasionne toujours une légère perte de lumière, et doit être moins favorable à la solidité du système. C'est d'après ces considérations, présentées par M. de Rossel et M. Arago, que M. Becquey commanda, l'année dernière, la construction de huit lentilles annulaires, destinées à l'éclairage du phare de Cordouan, pour encourager ce nouveau genre de fabrication et engager M. Soleil à faire construire les machines nécessaires.

17. Le dégrossissage des anneaux est devenu beaucoup moins long depuis que cet opticien, au lieu d'être obligé de refouler des morceaux

---

[a] Grâce aux progrès de la fabrication créée par Fresnel, le perfectionnement essentiel qu'il indique ici a été obtenu quelques années après lui.

de glace, reçoit de la manufacture de Saint-Gobain de grands arcs coulés dans des moules, et dont la forme approche bien plus de celle qu'ils doivent avoir définitivement que les morceaux de verre refoulés. MM. les administrateurs ont obligeamment accordé cette faveur à M. Soleil, sur la demande de la Commission des phares; et le savant directeur de cette manufacture, M. Tassaert, a mis beaucoup d'intérêt au succès de la fonte de nos prismes courbes. Néanmoins ils ne sont pas aussi exempts de stries et surtout de bulles que le verre de glace refoulé avec soin. Il paraît que, dès que les pièces à couler ont 18 pouces de longueur et 2 à 3 pouces d'épaisseur, il devient difficile de les préserver des bulles et des bouillons. Le cristal ou verre de plomb est moins sujet aux bulles, mais il est plus sujet aux stries: d'ailleurs il est beaucoup plus lourd que le crown de Saint-Gobain. C'est principalement pour cette dernière raison que nous avons préféré celui-ci, malgré sa teinte un peu verdâtre, et en outre parce qu'il est plus dur et plus inaltérable à l'air que le verre dans lequel il entre beaucoup d'oxyde de plomb. N° VIII (A).

18. Nos grandes lentilles de $0^m,76$ en carré, qui embrassent dans les deux sens un angle de 45°, présentent, depuis le centre jusqu'au milieu de chaque côté, six échelons, y compris la lentille du centre, et dix échelons du centre aux angles, de façon que l'anneau le plus saillant n'a que 37 millimètres dans sa plus grande épaisseur[1], et que le poids de la lentille, y compris un fort cadre de cuivre, n'excède pas 75 livres. Pour ne point fatiguer la machine de rotation qui doit faire tourner l'appareil composé de huit lentilles, il était nécessaire de les réduire au moindre poids possible, en multipliant beaucoup les échelons. Les largeurs des anneaux ont été déterminées de manière que leurs saillies fussent peu différentes.

19. Après avoir décrit la construction de ces grandes lentilles, je vais expliquer maintenant comment elles sont disposées dans l'appareil qui doit servir à l'éclairage des phares. De toutes les combinaisons de

[1] Les morceaux d'angle qui sont les plus épais n'ont que 4 centimètres.

N° VIII (A). lumières, de lentilles et de réflecteurs que j'ai imaginées, voici celle qui m'a paru la plus avantageuse : toutes les lumières destinées à l'éclairage du phare, réunies en une seule, sont entourées de huit lentilles carrées verticales et dont les centres sont situés dans le même plan horizontal que la lumière unique et à la distance du foyer des rayons parallèles. Elles forment ainsi, autour de l'objet éclairant, un prisme vertical ayant pour base un octogone régulier; et comme elles embrassent chacune un angle de 45° dans les deux sens, elles reçoivent et emploient tous les rayons lumineux compris dans la zone équatoriale de 45° appartenant à la sphère qui aurait son centre au foyer commun. Or cette zone comprend les 0,383 de la surface de la sphère ou les $\frac{2}{5}$ environ; et, si l'on suppose que l'intensité de la lumière est diminuée de $\frac{1}{10}$ par son passage au travers de ces lentilles, il reste encore 0,34, c'est-à-dire $\frac{1}{3}$. Il est probable que la perte de lumière doit être un peu plus considérable; mais, d'un autre côté, la partie inférieure de la sphère lumineuse recevant beaucoup moins de lumière que le reste, à cause de l'opacité du bec de lampe qui porte les mèches, la zone équatoriale de 45° doit contenir plus des $\frac{2}{5}$ de la totalité de la lumière émise; ainsi il n'y a sans doute rien d'exagéré en estimant au tiers la partie de la lumière totale réfractée par les huit lentilles.

20. Les réflecteurs ont l'avantage d'envelopper, pour ainsi dire, l'objet éclairant, et de recevoir une plus grande quantité de rayons; mais ils absorbent au moins la moitié des rayons incidents. Les réflecteurs paraboliques embrassent ordinairement les $\frac{7}{10}$ de la surface totale de la sphère lumineuse, et l'on peut même réduire cette fraction à $\frac{6}{10}$, à cause du bec, qui intercepte beaucoup plus de rayons dans la partie inférieure du réflecteur que dans le reste de la sphère lumineuse. De plus, la moitié de la lumière étant absorbée par le miroir, on voit que la somme des rayons qu'il réfléchit est égale aux $\frac{3}{10}$ de ceux qui émanent du foyer, c'est-à-dire un peu moindre que la somme des rayons transmis par les lentilles.

21. L'effet utile des lentilles et des réflecteurs ne dépend pas seu-

lement de la proportion des rayons réfléchis ou réfractés, mais encore de leur concentration plus ou moins grande dans le plan horizontal où ils doivent éclairer les navigateurs, concentration qui dépend des dimensions de l'objet éclairant relativement à la distance de ce foyer à la surface du miroir ou de la lentille. Dans l'appareil lenticulaire que je viens de décrire, cette distance varie peu: elle est de $0^m,92$ aux centres des lentilles, de 1 mètre au milieu de leurs bords, et de $1^m,07$ à leurs angles. Dans un réflecteur parabolique, au contraire, la distance du foyer aux divers points de la surface varie depuis un jusqu'à trois et demi; et à l'extrémité du paramètre, elle est déjà le double de ce qu'elle est au sommet du paraboloïde. Dans les plus grands réflecteurs employés jusqu'à présent, qui ont 31 pouces d'ouverture et pèsent près de 100 livres, la distance du foyer au sommet du paraboloïde n'est que de 5 pouces. On voit quelle doit être la divergence verticale des rayons voisins du sommet, je dirai même de la moitié de tous ceux que réfléchit le miroir, dès que la flamme qui l'éclaire a seulement 1 pouce $\frac{1}{2}$ de hauteur. Une partie de ces rayons divergents est sans doute utilement employée à éclairer les abords du phare; mais les rayons qui, par l'effet de la même divergence, s'élèvent au-dessus du plan horizontal sont perdus pour les navigateurs. Comme l'intensité de la lumière décroît proportionnellement au carré de la distance, c'est vers les points les plus éloignés de l'horizon qu'on doit diriger la majeure partie des rayons; et il n'est pas nécessaire d'en réserver beaucoup pour les feux plongeants destinés à faire voir le phare aux navigateurs très-rapprochés.

C'est donc par la somme des rayons dirigés dans le plan horizontal qu'il faut comparer les effets des appareils destinés à l'éclairage des phares. C'est aussi sous ce rapport que nous avons comparé, M. Arago, M. Mathieu et moi, les effets utiles des divers réflecteurs et des grandes lentilles.

22. Il y aurait beaucoup d'inconvénients à former la lumière centrale de l'appareil lenticulaire par l'assemblage d'un grand nombre de becs ordinaires d'Argant; car s'ils étaient seulement au nombre de dix,

N° VIII (A). la perte des rayons de chaque bec interceptés par les autres becs deviendrait considérable. La vivacité de la lumière étant la qualité la plus essentielle d'un phare, il était nécessaire, pour tirer le parti le plus avantageux de l'appareil lenticulaire, que le feu central présentât beaucoup de lumière sous un volume peu considérable. Nous sommes parvenus, M. Arago et moi, à résoudre ce problème d'une manière satisfaisante, en suivant l'idée de M. de Rumford sur les becs à mèches multiples [a], et nous avons même été plus heureux que lui dans nos essais. Nous avons fait construire des becs à mèches concentriques, qui portent deux mèches, trois mèches et jusqu'à quatre mèches, et qu'on peut gouverner presque aussi aisément qu'un bec ordinaire [b]. Nous avons réussi complétement à mettre le bec à l'abri de la grande ardeur de ces foyers, en y faisant arriver l'huile en surabondance, comme dans les lampes de Carcel; et ce moyen a si bien réussi, que, malgré le grand nombre et la durée des expériences auxquelles ces becs ont été soumis, nous n'avons pas encore été obligés de les nettoyer. Ces gros becs n'ont pas, comme ceux qu'on a faits jusqu'à présent avec une seule mèche circulaire, l'inconvénient de donner une flamme rougeâtre et de peu de hauteur. Leur lumière est aussi blanche que brillante, et les flammes concentriques, s'échauffant mutuellement, s'allongent avec facilité. Il est même nécessaire alors de tenir les cheminées un peu hautes, pour que l'air, se renouvelant rapidement, puisse suffire à la combustion du gaz qui se dégage, et, rafraîchissant le bec, empêcher la distillation trop abondante de l'huile.

23. On pouvait craindre que la vivacité de la combustion ne charbonnât les mèches concentriques (surtout dans le bec qui en porte quatre) plus rapidement que cela n'a lieu dans les becs des lampes or-

---

(a) Ou plutôt de Guyton de Morveau. (Voir les *Annales de chimie*, 1re série, t. XXIV, p. 311.)

(b) Les calibres dès lors adoptés par Arago et Fresnel pour les becs de lampe à deux, à trois et à quatre mèches concentriques, avaient été si judicieusement déterminés, qu'une pratique continue de près d'un demi-siècle n'y a fait apporter aucune modification notable.

dinaires; mais nous nous sommes assurés du contraire par l'expérience, et nous avons reconnu en outre que, au même degré de carbonisation, les mèches du bec quadruple éprouvent moins de diminution dans l'effet qu'elles produisent; ce qui tient sans doute à ce que la grande chaleur du foyer facilite l'ascension de l'huile dans les mèches. Nous avons tenu le bec quadruple allumé pendant quatorze heures sans le moucher, et la vivacité de la lumière donnée par la lentille qu'il illuminait n'avait guère diminué que du sixième de son intensité primitive. Ainsi ces becs quadruples peuvent brûler pendant les longues nuits d'hiver sans qu'il soit nécessaire de les moucher; il suffit de relever un peu les mèches dans les dernières heures de la combustion, pour conserver aux flammes leur hauteur primitive. N° VIII (A).

24. Le bec quadruple, ayant 9 centimètres de diamètre, brûle à peu près une livre et demie d'huile par heure dans les moments où la combustion a le plus d'activité, et donne de la lumière en proportion de la quantité d'huile qu'il consume : il équivaut, pour la dépense et la lumière produite, à dix-sept lampes de Carcel. C'est avec ce bec, placé au centre, qu'est éclairé l'appareil composé de huit grandes lentilles carrées de 76 centimètres. La lampe est fixée sur une table reposant sur une colonne de fonte, qui supporte en même temps le poids de l'appareil lenticulaire. Cet appareil peut tourner aisément autour de la colonne, au moyen de galets qui roulent sur la saillie du chapiteau, et il est mis en mouvement par une horloge, qui règle la durée de ses révolutions. En tournant ainsi autour de la lumière centrale, qui reste fixe, l'appareil lenticulaire promène successivement sur tous les points de l'horizon les huit cônes lumineux des lentilles et les intervalles obscurs qui les séparent; d'où résulte, pour les observateurs, une succession régulière d'éclats et d'éclipses. La largeur des angles éclairés d'une lumière assez vive pour être aperçue à six lieues, c'est-à-dire l'étendue angulaire des éclats, n'étant que de 6° 30′, tandis que celle des intervalles obscurs est de 38° 30′, la durée des éclats ne serait que le sixième de celle des éclipses; elle serait suffisante, à la rigueur, puisqu'elle est plus petite encore dans la plupart de nos phares à feux

N° VIII (A). tournants éclairés par de grands réflecteurs, et qu'il en est même quelques-uns où les éclats sont à peine le dixième des éclipses. Néanmoins, il était à désirer qu'on pût augmenter la durée relative des éclats dans l'appareil lenticulaire, pour satisfaire les marins, qui trouvent toujours les éclipses trop longues.

25. Il est aisé d'augmenter autant qu'on le veut la divergence des rayons émergents, en rapprochant ou éloignant les lentilles de la lumière centrale; mais, comme alors la divergence croît autant dans le sens vertical que dans le sens horizontal, on perd beaucoup de rayons, et l'intensité de la lumière diminue suivant un rapport bien plus grand que celui de l'accroissement de sa durée; car le premier rapport est le carré du second; c'est-à-dire que, si l'on double par ce moyen la durée des éclats, leur intensité est réduite au quart de ce qu'elle était d'abord. En employant des lentilles d'un foyer plus court, on tomberait encore dans le même inconvénient; mais au moins on diminuerait à la fois le poids de l'appareil et les frais de sa construction.

26. Je me suis proposé d'augmenter la durée des éclats sans en diminuer la vivacité, et sans accroître néanmoins le volume de l'objet éclairant ou la dépense d'huile. J'y suis parvenu facilement, sans rien changer à la disposition des huit grandes lentilles, en me servant des rayons lumineux qui passent par-dessus, et qui autrement seraient perdus. J'emploie à cet effet huit petites lentilles additionnelles trapézoïdales, de $0^m,50$ de foyer, dont la réunion forme au-dessus du bec quadruple comme une espèce de toit en pyramide octogonale tronquée, qui laisse passer la cheminée de la lampe par son ouverture supérieure. Ces lentilles embrassent un quart de la surface de la sphère qui a son centre au foyer commun, et reçoivent ainsi plus du quart de la totalité des rayons qui émanent du bec, puisque l'hémisphère supérieur, ainsi que nous l'avons déjà fait observer, en contient plus que l'hémisphère inférieur. Mais, comme on est obligé d'employer des glaces étamées pour ramener dans une direction horizontale les faisceaux lumineux qui sortent de ces lentilles, une grande partie de la lumière incidente est absorbée par les miroirs, malgré leur inclinaison prononcée,

qui est de 25°; et j'estime que la lumière incidente doit être réduite à moitié par son passage au travers des lentilles et sa réflexion sur ces glaces étamées. Ainsi la quantité de rayons fournis par ce moyen n'est guère, en définitive, que la huitième partie de la totalité de ceux qui émanent du bec quadruple. Cependant on double au moins la durée des éclats avec ces lentilles additionnelles, en laissant 7° d'intervalle entre la projection horizontale de l'axe de chacune d'elles et l'axe de la grande lentille correspondante. Il faut que le feu de la petite lentille précède celui de la grande; car, s'il le suivait, l'œil du spectateur, fatigué par la vivacité du grand éclat, perdrait une partie de l'autre. N° VIII (A).

27. La lumière des petites lentilles est sans doute bien inférieure à celle qu'envoient les grandes; premièrement, parce que leur superficie n'est que le cinquième de celles-ci, et, en second lieu, parce que les rayons qui en sortent sont ensuite affaiblis par une réflexion. Néanmoins ils ont encore assez d'intensité pour être vus de très-loin; car il résulte d'observations faites à 25,000 mètres de distance et par un clair de lune que les lentilles additionnelles doublaient la durée de l'apparition du feu; et il est probable qu'une bonne partie de cet effet serait encore sensible à des distances plus considérables. Ces petites lentilles, qui, avec leurs glaces, n'augmentent le prix de l'appareil que de 2,700 francs, et son poids que de 128 kilogrammes ou 256 livres, sont donc une addition avantageuse et même économique, puisqu'elles recueillent et emploient utilement une partie notable de la lumière produite, qui sans elles aurait été perdue[a].

28. On pourrait, à la rigueur, diriger aussi vers l'horizon les rayons

---

[a] Voyez le *post-scriptum* du présent Mémoire et la lettre du 25 avril 1825 à M. Robert Stevenson [N° XV], où se trouve indiquée une nouvelle combinaison pour prolonger les éclats des grandes lentilles en recueillant, à l'aide de *zones conoïdes de miroirs concaves*, les rayons focaux divergeant au-dessus et au-dessous du tambour dioptrique tournant.

Il est à noter, au sujet du *système accessoire de lentilles additionnelles avec miroirs plans* (auquel Fresnel renonça pour y substituer successivement deux combinaisons de beaucoup préférables), que c'est surtout la priorité d'invention de ce même système accessoire, que sir David Brewster a fait valoir dans ses incessantes réclamations comme inventeur des

N° VIII (A). qui passent par-dessous les grandes lentilles; mais il serait difficile de le faire sans gêner beaucoup le service de la lampe; c'est ce qui m'a décidé à les laisser tomber directement dans la mer, où ils ne seront pas tout à fait sans utilité, en formant des feux très-plongeants qui éclaireront les abords du phare[a].

29. Nous avons comparé par de nombreuses expériences, M. Arago, M. Mathieu et moi, l'intensité de lumière des grandes lentilles de 76 centimètres avec celle des réflecteurs de M. Lenoir, de 31 pouces d'ouverture, et des réflecteurs à double paraboloïde de M. Bordier-Marcet, de 28 à 29 pouces de diamètre, les plus grands qu'on ait employés jusqu'à présent dans les phares. Nous avons trouvé que la lentille éclairée par le bec quadruple donnait, suivant l'axe, une lumière trois fois et un quart aussi vive que celle du grand réflecteur de M. Lenoir, et quatre fois et demie plus intense que celle du réflecteur à double effet de M. Bordier-Marcet. Or, dans les phares à feux tournants les mieux éclairés, on ne réunit ordinairement dans la même direction que deux grands réflecteurs[1], et l'appareil se compose de quatre couples semblables disposés en carré : ainsi les éclats produits par les lentilles sont deux fois plus brillants dans l'axe que ceux des phares à feux tournants de M. Bordier, et même de M. Lenoir; car il est difficile d'établir un parallélisme assez exact entre les axes des réflecteurs accouplés, pour que leurs *maxima* de lumière se superposent rigoureusement et produisent une intensité double de celle qu'ils donnent séparément, surtout quand des réflecteurs aussi grands sont

[1] Dans le phare de Cordouan, il y a quatre grands réflecteurs sur chacune des trois faces de l'appareil, qui forme, au lieu d'un carré, un prisme triangulaire; mais il paraît qu'on a donné à leurs axes des divergences très-sensibles, pour prolonger la durée des éclats; car ce phare n'est pas plus brillant que les autres.

---

phares lenticulaires. [Voyez notre Introduction et l'espèce de factum publié à Londres, en 1867, par l'illustre physicien écossais, sous le titre : *The History of the invention of Dioptric Lights, and their introduction into Great Britain.*]

[a] Voyez le *post-scriptum* et la note dont nous l'avons fait suivre.

éclairés, comme ceux de M. Lenoir, par un petit bec de 6 lignes de diamètre. Il est d'ailleurs nécessaire alors, à cause du peu de largeur des cônes lumineux qu'ils projettent, de donner à leurs axes une légère divergence pour prolonger la durée des éclats. Donc, en définitive, les éclats produits par les grandes lentilles doivent avoir deux fois plus d'intensité que ceux des phares de France les mieux éclairés. N° VIII (A).

30. Pour estimer et comparer les sommes de rayons qui composent les éclats produits par la lentille et les réflecteurs, nous avons mesuré l'intensité de la lumière dans un assez grand nombre de directions différentes, depuis l'axe jusqu'aux limites de l'éclat, en faisant successivement pivoter sur une table tournante la lentille et les réflecteurs, dont nous comparions la lumière à celle d'une lampe ordinaire prise pour unité, au moyen des ombres portées; ensuite, multipliant chaque intensité partielle par le petit angle décrit correspondant, nous avons obtenu ainsi des nombres proportionnels aux effets utiles de la lentille et des réflecteurs. Nous avons trouvé, de cette manière, que la somme des rayons compris dans toute l'étendue de l'éclat de chaque réflecteur n'était pas le tiers de la somme des rayons qui composaient l'éclat de la lentille armée du bec quadruple. Ainsi, pour l'effet total, chaque lentille du nouvel appareil équivaut à trois grands réflecteurs de M. Lenoir ou de M. Bordier-Marcet.

31. Maintenant, en tenant compte des quantités d'huile dépensées, on trouve que l'appareil composé de huit grandes lentilles éclairées par le bec quadruple est presque aussi économique[1] que les grands réflecteurs de M. Lenoir armés d'un petit bec, et deux fois plus que

[1] Il y aurait encore plus d'économie dans l'emploi de la lumière, si l'on substituait un bec triple au bec quadruple, parce que plus l'objet éclairant est petit relativement à la distance focale, et moins il y a de rayons perdus; mais on diminuerait ainsi la vivacité des éclats, et surtout leur durée, et peut-être n'aurait-on plus assez de feux plongeants. Je crois qu'il ne faut employer le bec triple que pour les phares du second ordre, et diminuer alors la longueur focale et les dimensions des lentilles[*].

[*] Programme auquel Fresnel s'arrêta définitivement, en fixant à 70 centimètres la longueur focale des lentilles du second ordre.

N° VIII (A). les grands réflecteurs de M. Bordier-Marcet, qui portent chacun deux becs de 10 lignes de diamètre. Or nous n'avons pas compris jusqu'à présent, dans nos calculs, l'effet produit par les petites lentilles additionnelles, qui accroît la durée des éclats sans augmentation dans la dépense d'huile. On voit donc combien les résultats de l'appareil lenticulaire sont satisfaisants, puisque, avec autant d'économie dans l'emploi de la lumière qu'en présentent les plus grands réflecteurs éclairés par les plus petits becs, il donne un effet trois fois aussi puissant que celui d'un phare composé de huit réflecteurs semblables, sans que le poids et le prix de l'appareil soient beaucoup plus considérables. Le poids est augmenté d'un huitième, et le prix environ des trois cinquièmes.

32. Mais un autre avantage bien important, et qui suffirait pour faire donner la préférence aux lentilles, lors même que leurs effets ne seraient pas supérieurs à ceux des réflecteurs, c'est l'inaltérabilité du verre et la durée de son poli. Les frais d'entretien des lentilles seront presque nuls, et leur nettoyage donnera beaucoup moins de peine aux gardiens que celui des réflecteurs, qu'il faut frotter souvent avec de l'oxyde rouge de fer pour entretenir leur brillant. Il résulte de la position de la lampe, située au centre de l'octogone lenticulaire, dont le cercle inscrit a 93 centimètres de rayon, que les lentilles ne seront point exposées aux taches d'huile comme les réflecteurs, qui portent les becs de lampe dans leur intérieur; en sorte que, le plus souvent, il suffira de les épousseter légèrement avec un plumeau, et l'on aura rarement besoin de les essuyer; mais alors, pour les nettoyer complétement, il sera bon de saupoudrer de rouge à polir le linge ou la peau avec lesquels on les essuiera. De cette manière elles conserveront presque indéfiniment toute la puissance d'effet qu'elles ont en sortant de l'atelier de l'opticien; tandis que des miroirs argentés ne tardent pas à perdre une partie de leur poli; et le nettoyage de huit grands réflecteurs étant assez pénible, il doit arriver souvent que, par la négligence des gardiens, ils n'ont pas encore tout le brillant dont ils sont susceptibles. Enfin il est nécessaire de les argenter de temps en temps, quand le

frottement a usé la feuille qui recouvre leur surface intérieure : les lentilles n'exigent point un pareil entretien. N° VIII (A).

33. En raison de l'immobilité de la lumière centrale, l'appareil lenticulaire à feux tournants se prête aussi bien à l'éclairage au gaz qu'à l'éclairage à l'huile. Si l'on trouve de l'économie ou quelque autre avantage à employer le gaz, on n'aura qu'à remplacer la lampe par un tuyau surmonté d'un bec à flammes concentriques et communiquant par son extrémité inférieure avec le gazomètre[1]. Enfin on pourra appliquer avec la plus grande facilité à l'appareil lenticulaire tous les perfectionnements que le temps et l'expérience apporteront dans la manière de produire la lumière[a].

34. Après avoir exposé les principaux avantages de cet appareil, je dois passer en revue les inconvénients qu'on peut lui trouver. Le premier qui se présente à la pensée est la fragilité du verre. Mais je ferai observer que les morceaux de verre qui composent les lentilles sont assez épais pour ne pouvoir être brisés ou détachés que par un choc violent,

[1] Nous devons essayer bientôt, M. Arago et moi, un bec de cette espèce, portant six flammes concentriques, avec le gaz produit par la distillation du charbon. Si l'on emploie le gaz provenant de la distillation de l'huile, qui donne une lumière plus intense, il est probable que quatre ou cinq flammes suffiront[*].

La distillation des mauvaises huiles et autres matières grasses, étant plus simple que celle du charbon de terre, paraît préférable pour l'éclairage des phares; mais, avant de l'y appliquer, il est prudent de s'informer pourquoi les Anglais ne l'ont pas encore fait dans leurs phares à feux fixes, et de s'assurer que cette distillation présente en France une économie certaine. Au reste, si l'on emploie le gaz, de quelque manière qu'on le produise, il faudra toujours tenir dans la lanterne une lampe de sûreté toute prête, pour le cas où il viendrait à manquer par un accident quelconque. L'éclairage au gaz aurait l'avantage précieux de donner des flammes d'une hauteur constante pendant la durée des plus longues nuits, sans exiger pour cela aucun soin de la part du gardien.

[*] De 1824 à 1827, Fresnel fit de nombreuses séries d'expériences sur les becs à quatre, cinq et six couronnes concentriques alimentés par diverses espèces de gaz. (Voyez ci-après N° XXIII.)

---

[a] Prévision réalisée depuis quelques années, par l'application de la *lumière électrique* à l'illumination des appareils lenticulaires.

N° VIII (A). et qu'avec un peu d'attention il est facile d'éviter ces accidents, qui d'ailleurs se répareraient aisément au moyen de la colle de poisson, à moins que la pièce cassée ne le fût en un trop grand nombre de morceaux; auquel cas il vaudrait mieux la faire remplacer par une autre, et, à cet effet, renvoyer à l'opticien la lentille endommagée. Mais, comme je viens de le dire, un pareil accident ne saurait être que très-rare, avec un peu d'attention de la part des gardiens; et c'est seulement parce qu'il faut tout prévoir, qu'on a joint aux huit lentilles de chaque espèce qui composent l'appareil une lentille semblable de rechange, destinée à remplacer celle qui aurait besoin de réparations.

35. La lampe unique qui éclaire le phare paraît un sujet d'inquiétude; car, si elle venait à s'éteindre, toute la lumière du phare s'évanouirait, et les bâtiments qu'un hasard malheureux aurait conduits en ce moment dans son voisinage pourraient échouer sur l'écueil qu'il doit indiquer aux navigateurs. Mais d'abord, les coups de vent violents qui ont quelquefois éteint toutes les lampes d'un phare à réflecteurs ne produiraient sans doute pas le même effet sur les quatre flammes de ce bec, qui, en raison de la grandeur du foyer et de l'activité de la combustion, sont bien moins sensibles aux courants d'air que les flammes des becs ordinaires, comme j'ai eu souvent occasion de le remarquer : c'est ainsi que le vent, qui éteint une chandelle, n'éteint pas une torche. A la vérité, le bec quadruple pourrait s'éteindre par une autre cause, le manque d'huile. Mais pour bien peser ce danger, qui m'a le plus occupé, il est nécessaire de connaître la manière dont l'huile est amenée dans le bec.

36. Afin de rendre le service plus commode et d'arroser continuellement les bords du bec d'une quantité d'huile très-surabondante, je me suis décidé, d'après l'avis de M. de Rossel et de plusieurs autres membres de la Commission des phares, à appliquer à cette lampe l'ingénieuse idée de Carcel, et à faire monter l'huile dans le bec au moyen de pompes mues par une horloge. Cette horloge est à poids, pour plus de sûreté et de régularité dans son mouvement, et le poids descend

par l'intérieur de la colonne de fonte sur laquelle reposent la table de service et la lampe qu'elle supporte. Une horloge à poids aussi simple que celle-là n'est pas sujette à s'arrêter; mais enfin, si cet accident arrivait, ou si les valvules et les soupapes des pompes venaient à se crever ou à se déranger, une autre lampe à mouvement d'horlogerie, mais dans laquelle le moteur est un ressort, serait allumée sur-le-champ et substituée à la première. Les mécanismes de ces lampes ont été conçus et exécutés par M. Wagner jeune, avec son talent ordinaire. N° VIII (A).

37. On pourrait craindre encore que le gardien ne fût endormi au moment où la lampe se serait dérangée : c'est ce qui m'a engagé à chercher un moyen de le réveiller lorsque l'huile viendrait à manquer, et j'en ai trouvé un très-simple : il consiste à placer, entre le bec et le réservoir dans lequel retombe l'huile surabondante, un petit vase de fer-blanc attaché à l'extrémité d'un levier et faisant équilibre, lorsqu'il est rempli d'huile, à un contre-poids situé sur l'autre bras du levier. Ce petit vase est percé d'un trou assez large pour qu'il puisse se vider promptement quand il ne reçoit pas de nouvelle huile, mais pas assez pour en laisser passer autant qu'il en reçoit du bec dans l'état ordinaire des choses; en sorte qu'il reste toujours plein tant que l'huile qui tombe du bec ne diminue pas. Mais quand il n'en tombe plus, et avant que le bec s'éteigne, le vase se vide, le contre-poids l'emporte, et le mouvement du levier laisse échapper l'extrémité du ressort d'une sonnette qu'il tenait bandé. Le bruit de cette sonnette, dont les oscillations se répètent pendant quelques instants, suffit pour réveiller le gardien [a].

38. Il ne serait peut-être pas inutile d'ajouter une autre précaution

---

[a] Ces ingénieuses précautions ont pleinement répondu aux prévisions de l'inventeur. L'éclairage des nombreux appareils lenticulaires qui signalent les atterrages de notre littoral est en effet entretenu avec la plus constante régularité, et nous rappellerons qu'à cet égard l'expérience acquise embrasse une période de quarante-cinq ans au phare de Cordouan, où le nouveau système a reçu sa première application.

N° VIII (A). à celle-ci, en plaçant près du bec quadruple, et à la même hauteur, le bec ordinaire d'une lampe de Carcel, qu'on tiendrait allumée toute la nuit; en sorte que, dans le cas où celui-là viendrait à manquer d'huile par quelque dérangement dans ses pompes, et où le gardien ne se réveillerait pas assez tôt pour allumer à temps la lampe de rechange, le phare se trouverait encore éclairé par le bec ordinaire de la lampe de Carcel. Les éclats qu'il produirait seraient sans doute bien moins brillants et surtout beaucoup plus courts que ceux du bec quadruple, mais leur lumière pourrait être aperçue de loin et suffirait pour avertir les navigateurs qui se trouveraient en ce moment dans le voisinage du phare. Cette lampe de Carcel, que le gardien pourrait enlever à volonté et porter commodément d'une main, lui serait encore utile pour aller et venir, la nuit, et chercher les choses dont il pourrait avoir besoin.

39. Nous croyons qu'avec ces précautions le nouvel éclairage sera au moins aussi assuré que celui des appareils en usage. Il ne doit pas même donner autant d'inquiétude que les lampes ordinaires sur la congélation de l'huile pendant les nuits très-froides, puisque l'huile tiède qui retombe sans cesse du bec quadruple dans le réservoir et le voisinage de ce grand foyer de chaleur suffiront toujours pour tenir l'huile du réservoir à l'état liquide. Sans doute le service du bec quadruple est un peu plus compliqué que celui d'un bec ordinaire; mais nous nous sommes assurés, par des expériences très-multipliées, qu'il ne fallait qu'un peu d'attention pour régulariser les flammes et les entretenir à une hauteur convenable. C'est d'ailleurs le seul bec que le gardien ait à soigner et sur lequel il doive porter son attention; elle n'est plus partagée, comme dans les autres appareils, entre huit, ou seize, ou même vingt-quatre becs de lampes. Il n'y a plus de réflecteurs à frotter, plus de becs recouverts d'huile brûlée à décrasser; la seule chose à faire pendant le jour est de moucher les mèches du bec quadruple, de verser de nouvelle huile dans le réservoir de la lampe, et de fermer les rideaux destinés à intercepter les rayons solaires, qui sans cela pourraient enflammer ou fondre les corps placés au foyer des

lentilles. C'est une précaution que l'on prend même pour les réflecteurs paraboliques. Ces rideaux serviront en même temps à garantir les lentilles de la poussière, du moins pendant le jour. On voit que le service se réduira à bien peu de chose. Je suis persuadé que les gardiens des phares où l'on placera le nouvel appareil se féliciteront, par la suite, de cette simplification, et que, leur attention n'étant plus partagée entre plusieurs lampes, l'éclairage de la lampe unique qu'ils auront à soigner y gagnera beaucoup. N° VIII (A).

Lors même que l'expérience ferait découvrir dans cette lampe quelque inconvénient que nous n'aurions point remarqué, ce ne serait pas une raison pour abandonner l'appareil lenticulaire, qui présente de si grands avantages; car il serait toujours possible de perfectionner le mécanisme de la lampe, et d'obtenir enfin, soit avec l'huile, soit avec le gaz, la lumière centrale nécessaire à l'illumination de cet appareil.

40. On pourrait faire aussi en lentilles des phares à feux fixes, supérieurs à ceux qui sont composés de réflecteurs paraboliques; mais comme les feux fixes, qui doivent éclairer simultanément tout l'horizon, ne sauraient avoir une aussi grande portée que les feux tournants, et que d'ailleurs ils peuvent être confondus quelquefois avec des feux allumés sur la côte par accident ou malveillance, la Commission des phares a pensé qu'il sera préférable de n'employer que des feux tournants, si l'on parvient à les diversifier suffisamment[a]. On y réussit déjà en partie en variant les durées de leurs révolutions; mais ce moyen est assez borné, parce qu'il faut les rendre très-différentes pour que les marins du petit cabotage ne s'y méprennent pas, et que, d'une autre part, les limites des vitesses de rotation en plus et en moins qu'on peut adopter sans inconvénient sont peu étendues. Les verres colorés.

---

[a] Un plus mûr examen ramena la Commission à la combinaison consistant à faire alterner les *feux fixes* avec les *feux changeants*, ainsi qu'il résulte du rapport du contre-amiral de Rossel sur le *Projet général d'éclairage des côtes de France*. [N° XX (A).] Par suite du retour à ce programme, Fresnel eut à reprendre ses études sur les appareils dioptriques à feu fixe, et son premier essai en ce genre fut le petit appareil de troisième ordre qu'il présenta à l'Académie des sciences le 3 mai 1824. [Voyez ci-après N° XVI (A).]

N° VIII (A). placés devant les lentilles ou les réflecteurs, sont encore un moyen de diversifier les phares à feux tournants, mais qui n'a pas paru à la Commission bien assuré dans ses résultats, et qui d'ailleurs a l'inconvénient très-grave de faire perdre une grande quantité de lumière [a]. C'est pourquoi j'ai cherché à atteindre le but en établissant, entre les intervalles des éclats d'un même phare, des inégalités périodiques, d'après l'idée de M. Sganzin, inspecteur général des ponts et chaussées. Le premier appareil lenticulaire exécuté par M. Soleil a été construit dans ce système; deux des huit grandes lentilles y, sont remplacées chacune par deux lentilles moitié moins larges, qui embrassent toujours un angle de 45° dans le sens vertical, mais seulement de 22° 30′ dans le sens horizontal : ces deux couples de lentilles moitié moins larges sont diamétralement opposés. Il résulte de cette disposition que les intervalles angulaires entre les milieux des éclats successifs et, par conséquent, les intervalles de temps correspondants pendant la rotation du phare forment la série périodique 1, 1, $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, 1, $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, etc. [1] Il y a aussi une grande différence dans les intensités des

[1] On aurait une série plus simple par la combinaison de huit demi-lentilles avec quatre grandes lentilles, combinaison dans laquelle chacune de celles-ci serait suivie de deux demi-lentilles; ce qui donnerait, pour les intervalles de temps entre les milieux ou les fins des éclats successifs, la série périodique 1, 1, $\frac{2}{3}$, 1, 1, $\frac{2}{3}$, etc. Alors les marins ne seraient pas obligés d'observer un aussi grand nombre d'éclats pour reconnaître la loi de la période.

Mais une autre combinaison à laquelle nous avons songé M. de Rossel et moi donnerait au feu tournant un caractère distinctif encore plus facile à saisir : elle consisterait à entourer la lumière centrale de seize demi-lentilles, embrassant toujours chacune 45° dans le sens vertical et 22° 30′ dans le sens horizontal; tandis que la pyramide tronquée des lentilles additionnelles, qui forme comme une espèce de toit au-dessus de la lampe, ne serait toujours composée que de huit lentilles dont les éclats précéderaient de 7° ceux des huit demi-lentilles correspondantes et se renoueraient avec eux. Ainsi, sur deux éclats consécutifs, le premier, composé de l'éclat d'une lentille additionnelle et de celui d'une demi-lentille, serait deux fois plus long au moins

[a] La nécessité d'obvier aux chances de méprises, qui devaient s'accroître avec le nombre des phares, a fait admettre sur quelques points de notre littoral, et particulièrement aux entrées de ports, l'emploi des feux colorés.

éclats, puisque six d'entre eux sont presque deux fois plus brillants N° VIII (A).
que les quatre autres. Mais la lumière des plus faibles étant encore très-intense, et cette comparaison ne se faisant que de souvenir, il paraît, d'après nos expériences, qu'elle ne pourrait servir à reconnaître le phare que dans le cas où sa lumière serait très-affaiblie par un brouillard ou le grand éloignement de l'observateur; car, à six lieues de distance et par un clair de lune, il fallait quelque attention pour remarquer la différence d'intensité de ces éclats, tant ceux des demi-lentilles avaient encore de vivacité.

41. Les grandes lentilles ont été employées avec beaucoup de succès comme signaux, par MM. Arago et Mathieu, dans les opérations géodésiques qu'ils ont faites, vers la fin de l'automne dernier, sur les côtes de France et d'Angleterre. Une de ces lentilles, éclairée par un bec quadruple et placée à cinquante milles anglais de l'observateur, était vue aisément avec une lunette, une heure avant le coucher du soleil, et à l'œil nu, une heure après : elle paraissait alors aussi bril-

que l'éclat suivant, produit seulement par une demi-lentille; d'où résulterait une suite d'éclats alternativement longs et courts. Ce système présenterait encore un autre avantage : c'est que, en somme, la durée des éclats serait presque égale à celle des éclipses. A la vérité, les demi-lentilles auraient moins de portée que des lentilles entières embrassant 45° dans les deux sens; mais l'intensité de la lumière ne serait sans doute pas réduite à moitié, car les parties qu'on supprime à droite et à gauche de l'axe dans une lentille entière, pour faire une demi-lentille, doivent fournir moins de lumière que celles qu'on laisse, qui sont plus voisines de l'axe : ces demi-lentilles seraient aussi brillantes au moins que deux grands réflecteurs paraboliques de 30 pouces. Ainsi, en sacrifiant dans ce cas une partie de l'intensité des éclats à leur durée, on le ferait d'une manière économique, puisque, en somme, on gagnerait un peu de lumière.

Au lieu de rattacher l'éclat de chaque lentille additionnelle à celui d'une demi-lentille, on pourrait l'intercaler entre les éclats de deux demi-lentilles consécutives; il s'en distinguerait par une différence d'intensité qui serait bien assez prononcée pour frapper les yeux, et l'on aurait en outre une grande différence entre les intervalles de temps qui sépareraient les milieux des éclats successifs, puisqu'il résulterait de cette disposition la série très-simple 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{2}$, 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{2}$, 1, etc. L'effet particulier de ce feu tournant serait d'offrir des éclats très-brillants, qui se succéderaient à intervalles égaux, mais entre lesquels, et de deux en deux intervalles seulement, seraient intercalés des éclats beaucoup moins vifs.

N° VIII (A). lante qu'un phare anglais à feu fixe, qui se trouvait à peu près dans la même direction, à quinze milles seulement, c'est-à-dire trois fois plus près. Cet exemple suffit pour donner une idée de la portée des grandes lentilles.

42. Leur construction ne sera pas seulement utile à l'éclairage des phares; elle servira sans doute aussi à l'avancement de la science. Elle lui fournit un instrument puissant, avec lequel on pourra soumettre à la plus vive chaleur, dans l'intérieur d'un ballon de verre, des corps qu'on voudra fondre ou volatiliser, en les soustrayant à l'action de l'air ou en les mettant en contact avec un autre gaz; beaucoup d'expériences qui ne pourraient être faites ni avec le chalumeau ordinaire, ni avec celui de Newmann, le seront facilement de cette manière. Peut-être devra-t-on par la suite à ces grands verres ardents des découvertes aussi surprenantes que celles dont la pile de Volta a enrichi la chimie.

43. S'ils rendent des services importants aux savants, et surtout aux navigateurs, on en sera redevable au zèle éclairé avec lequel M. Becquey accueille toujours les inventions utiles et sait en hâter les perfectionnements. Les encouragements qu'il a donnés à M. Soleil ne se sont par bornés à lui commander deux appareils; l'établissement des machines nécessaires à l'exécution des lentilles annulaires exigeait des avances de fonds considérables. M. le directeur général des ponts et chaussées est venu au secours du fabricant, et, en lui faisant délivrer des à-compte, l'a enhardi dans la spéculation nouvelle à laquelle il se livrait, et a assuré dès le principe le succès de son entreprise.

Je dois ajouter que la chaleur avec laquelle M. de Rossel appuya la proposition de ce nouveau système d'éclairage, aussitôt qu'il eut vu les effets de notre première lentille, ainsi que les conseils et les encouragements qu'il nous a donnés pendant la durée du travail, ont beaucoup contribué à accélérer l'exécution des deux appareils lenticulaires qui sont maintenant terminés.

44. Le premier, dont les lentilles sont formées de petites portions de surfaces sphériques, a été essayé, l'an dernier, devant M. le direc-

teur général des ponts et chaussées et les membres de la Commission des phares, qui ont été très-satisfaits de la vivacité de sa lumière. N° VIII (A).

45. Le second, composé de huit grandes lentilles annulaires et de huit petites lentilles additionnelles, va être soumis à une série d'expériences semblables et plus complètes encore, en ce qu'on y emploiera la lampe à mouvement d'horlogerie destinée pour l'éclairage du phare de Cordouan[a].

46. Il résulte déjà d'une première observation faite de Montmélian, situé à 16,400 toises de l'arc de triomphe de la barrière de l'Étoile, sur lequel est placé l'appareil, que la durée de l'apparition de la lumière (à la vérité, dans des circonstances favorables) est la moitié de la durée des éclipses; qu'on aperçoit un affaiblissement sensible de la lumière (mais sans éclipse absolue) pendant un cinquième de la durée totale de l'apparition, au point de jonction de l'éclat de la grande lentille avec celui de la petite; et qu'enfin ces deux éclats, surtout celui de la grande lentille, sont encore très-beaux à cette distance.

P. S. Depuis la lecture de ce Mémoire, j'ai songé à un moyen de prolonger la durée des éclats sans rien changer à la disposition des grandes et des petites lentilles, par l'addition d'un appareil qui ne gênerait pas le service de la lampe et laisserait entièrement libre la table sur laquelle elle repose. Il consisterait en un système de petites glaces étamées, fixées au-dessous des grandes lentilles, entre les montants qui les soutiennent, et disposées d'une manière assez analogue aux feuilles d'une jalousie; mais, au lieu d'être parallèles, elles auraient chacune l'inclinaison convenable pour réfléchir les rayons provenant

---

[a] L'année suivante (le 20 juillet 1823), cet appareil remplaça, dans la lanterne de Cordouan, les douze grands réverbères tournants de Borda, qui signalaient depuis trente-huit ans l'embouchure de la Gironde.

Cette mémorable inauguration du système des phares lenticulaires fait l'objet des documents que nous avons réunis ci-après sous le N° XI.

N° VIII (A). de la lumière centrale suivant des directions horizontales parallèles entre elles, pour chaque système correspondant à une grande lentille, et faisant un angle de 14° ou 15° avec l'axe de cette lentille, en avant, dans le sens du mouvement de rotation, de manière que l'éclat produit par ce système de petits miroirs précéderait l'éclat de la lentille additionnelle de la même quantité dont celui-ci précède l'éclat de la grande lentille. Je pense qu'on parviendrait ainsi, à peu de frais, et sans augmenter le poids total du système de plus de 200 livres, à donner aux éclats une durée presque égale à celle des éclipses. Au reste, je me propose de faire bientôt l'essai de cet appareil additionnel, et de vérifier par l'expérience ces résultats approximatifs d'un premier aperçu [a].

---

[a] Nous devons appeler très-particulièrement l'attention du lecteur sur ce *post-scriptum*, où se trouve nettement formulé le programme de la combinaison accessoire renouvelée depuis sous le nom de *système holophotal*. Ce même programme est reproduit ci-après [N° XV], dans une lettre du 25 avril 1825 à M. Robert Stevenson, avec cette seule différence que les miroirs concaves auraient remplacé les miroirs plans. Il ne restait plus, pour rendre cette idée facilement applicable, et porter en même temps l'effet utile au maximum, qu'à substituer la *réflexion totale* à la *réflexion spéculaire*, à l'aide des *anneaux catadioptriques* si ingénieusement introduits par Fresnel, peu avant sa fin prématurée, dans la composition de ses appareils d'éclairage. Il ne s'était pas au surplus exclusivement attaché, pour les feux tournants, à la condition des *éclipses absolues*. De nouvelles études le conduisirent à préférer, pour Cordouan, l'addition d'un appareil accessoire à feu fixe, qui, sans changer le caractère distinctif du phare, devait le rendre constamment visible, en beau temps, jusqu'à une distance de quatre et cinq lieues.

Cet appareil, dont le profil a été ajouté à la figure 1 de la planche IV, fut installé sur le pourtour de la table de service. Il se compose d'un système polygonal de petits miroirs plans, étagés comme les lames d'une persienne, et disposés de manière à réfléchir horizontalement et à distribuer à peu près uniformément dans tous les azimuts les rayons focaux divergeant au-dessous du tambour lenticulaire tournant.

N° VIII (B).

NOTE

SUR

LES BECS A MÈCHES CONCENTRIQUES,

EXTRAITE

DES ANNALES DE CHIMIE ET DE PHYSIQUE

DU MOIS D'AVRIL 1821 [a].

MM. Arago et Fresnel, chargés par M. le directeur général des ponts et chaussées des expériences relatives au perfectionnement de l'éclairage des phares, se sont particulièrement occupés des becs à plusieurs mèches, dont M. de Rumford [b] avait annoncé depuis longtemps les avantages, mais qui présentaient encore de graves inconvénients par la difficulté de modérer la flamme.

MM. Arago et Fresnel sont parvenus à lever complétement cette difficulté, en appliquant à ces becs l'idée heureuse au moyen de laquelle

[a] Cette Note, primitivement insérée dans les *Annales de chimie et de physique*, puis dans le *Bulletin de la Société d'encouragement* (cahier de juin 1821), a été reproduite en 1822 par A. Fresnel, comme appendice à son Mémoire sur les phares. La dernière édition, comparée aux deux premières, présente plusieurs variantes, parmi lesquelles nous nous bornons à signaler celles qui nous ont paru de quelque intérêt.

[b] Et, avant lui, Guyton de Morveau. — Voir le Mémoire publié par ce savant, en 1797, dans les *Annales de chimie* (1re série, t. XXIV, p. 311), «Sur les moyens de fournir presque «sans frais le feu et l'eau pour les expériences chimiques.»

N° VIII (B). Carcel a porté à un si haut degré de perfection les lampes ordinaires à double courant d'air, et qui consiste à abreuver la mèche d'une quantité d'huile plus grande que celle qu'elle peut consumer. De cette manière, l'huile, sans cesse renouvelée, ne peut plus entrer en ébullition dans le bec, et la flamme s'éloigne de ses bords, continuellement recouverts par l'huile surabondante qui s'écoule. Dans les lampes que MM. Arago et Fresnel ont fait construire pour leurs expériences, ce n'est pas un mouvement d'horlogerie qui amène l'huile, comme dans celles de Carcel : le réservoir, plus élevé que le bec, reçoit l'air par un tuyau glissant dans une boîte à cuir, qu'on peut hausser ou baisser à volonté, et qui sert ainsi à régler le niveau d'écoulement; l'huile surabondante tombe dans un récipient placé sous le bec, puis est reversée dans le réservoir lorsqu'on éteint la lampe.

Cet appareil, convenable pour les expériences auxquelles il était destiné [a], serait sans doute très-incommode dans les usages domestiques, et en général dans l'éclairage des salles, à cause du grand volume qu'il oblige de donner au réservoir et au récipient. Il vaudrait beaucoup mieux alors adapter à la lampe l'ingénieux mécanisme de Carcel.

Il ne suffisait pas, pour maîtriser la combustion, d'amener l'huile en quantité surabondante; car il aurait fallu, dans certains cas, rendre son écoulement si rapide, que les plus grands réservoirs auraient été vides en peu de temps : il était nécessaire encore de donner à la cheminée une hauteur convenable. On conçoit en effet que plus la cheminée est haute, plus le courant d'air devient rapide et rafraîchit les bords du bec. Quand la cheminée est trop basse, le bec s'échauffe, la flamme s'allonge et rougit; quand elle est trop haute, la flamme est blanche, mais ne peut acquérir le développement nécessaire, et éprouve une agitation continuelle, occasionnée par la trop grande

---

[a] VARIANTE de la première édition :

Et qui peut être adopté sans inconvénient dans l'éclairage des phares.

vitesse du courant d'air. L'expérience peut seule déterminer la hauteur de cheminée la plus avantageuse. Comme elle doit varier avec l'état de l'air, et surtout avec la température de l'atmosphère, on a adapté à la cheminée une rallonge de tôle, composée de deux pièces qui s'emboîtent l'une dans l'autre, dont l'une est fixe et l'autre peut s'élever ou s'abaisser à l'aide d'une crémaillère. De cette manière on fait varier à volonté la hauteur de la cheminée lorsque la lampe est allumée. On la tient basse dans les premiers instants pour faciliter le développement des flammes, et l'on élève ensuite la partie mobile de la rallonge pour modérer la combustion [1] [a]. N° VIII (B).

Chacune des mèches concentriques s'élève ou s'abaisse séparément, à l'aide d'une crémaillère dont la tige, qui porte l'anneau, passe dans l'intérieur même du bec. L'anneau sur lequel la mèche est fixée s'assemble à baïonnette sur celui-ci, en sorte qu'on peut l'enlever et

[1] L'expérience a fait reconnaître des inconvénients dans ces rallonges mobiles, qui, soutenues seulement d'un côté par la crémaillère, sont sujettes à s'incliner un peu, et frottent alors contre la partie fixe du tuyau. Il est bien préférable de lui donner une hauteur excédante, et de diminuer la vitesse du courant d'air au degré convenable par le moyen d'un obturateur semblable à une clef de poêle, mais dont la largeur n'excède pas le tiers du diamètre du tuyau. C'est une feuille de tôle ou de platine, placée vers le bas de la rallonge et attachée sur un axe qu'on fait tourner de la quantité qu'on veut, à l'aide d'une petite vis sans fin portant un manche de bois, et engrenant avec un quart de roue dentée fixé à l'extrémité de l'axe de l'obturateur. Par ce moyen on fait hausser ou baisser les flammes à volonté avec la plus grande facilité.

Il est bon que la rallonge soit composée de deux tuyaux qui emboîtent l'un dans l'autre, afin qu'on puisse au besoin en augmenter ou diminuer la longueur. Mais cette opération ne se fait plus quand le bec est allumé et la rallonge posée sur la cheminée; c'est à l'aide du seul obturateur qu'on doit régler alors la vitesse du courant d'air. [*Note ajoutée par l'auteur à sa première rédaction.*]

---

[a] Ici se trouve, dans la première édition, le paragraphe intercalaire suivant :

La robe qui porte la cheminée peut aussi s'élever où s'abaisser, comme dans les lampes de Carcel, afin de placer le coude de la cheminée à la hauteur la plus favorable à la combustion; car la position du coude exerce, comme on sait, une influence très-notable sur [le développement et] la blancheur de la flamme.

N° VIII (B). le replacer à volonté. De cette manière on a supprimé les petits tuyaux qu'on adapte ordinairement aux becs pour contenir la tige qui porte l'anneau. Dans les becs à mèches concentriques, où la température est toujours très-élevée, ces petits tuyaux remplis d'huile avaient l'inconvénient de laisser dégager une trop grande quantité de gaz, et de diminuer en outre le passage de l'air au même endroit : deux causes qui produisaient en ce point un jet de flamme plus élevé que sur le reste du bec.

Enfin la chose la plus importante peut-être dans la construction du bec, et qui ne pouvait être déterminée que par l'expérience, c'était de régler l'intervalle entre les mèches concentriques de façon à produire le plus bel effet possible. Si on les tient trop éloignées les unes des autres, les flammes ne s'échauffent pas assez mutuellement et sont rouges; si on les rapproche trop, l'air n'arrive plus en quantité suffisante pour la combustion, d'où résulte un grand allongement des flammes; elles rougissent aussi dans la partie supérieure et donnent de la fumée. On remédierait à cet inconvénient en exhaussant suffisamment la cheminée; mais le courant d'air deviendrait si rapide, qu'une partie notable de la vapeur d'huile serait entraînée sans avoir servi à la combustion.

MM. Arago et Fresnel n'ont pas eu besoin de tâtonnements nombreux pour arriver à la solution du problème. Dès leurs premiers essais, ils ont été assez heureux pour rencontrer l'espacement convenable des mèches[a]. Le premier bec qu'ils ont fait construire, portant seulement deux mèches concentriques, a très-bien réussi. M. Kater, membre de la Société Royale de Londres, qui a assisté (en octobre 1819) à cette première expérience, a pu juger de l'éclat et de la blancheur de sa lumière. Il produit l'effet de cinq lampes de Carcel, et ne fait guère que

---

[a] Une expérience continue de près d'un demi-siècle, avons-nous déjà dit, n'a fait reconnaître la nécessité d'aucune modification notable dans les calibres primitivement adoptés par Arago et Fresnel pour les mèches concentriques.

la dépense de quatre et demie[1]. Ce résultat s'accordait assez avec ce que M. de Rumford avait annoncé sur les avantages économiques des becs à mèches multiples, sans confirmer entièrement cependant les grandes différences qu'il faisait espérer. Mais les becs à trois mèches et à quatre mèches concentriques, que MM. Arago et Fresnel ont fait construire depuis, et qui donnent autant de lumière que dix et vingt lampes de Carcel, n'ont pas présenté d'économie constante et bien notable dans la dépense d'huile. En prenant des moyennes entre un grand nombre d'expériences, on a trouvé que la quantité d'huile consommée était à peu près proportionnelle à la quantité de lumière produite[2].

M. Arago a proposé d'appliquer le bec qui porte seulement deux mèches concentriques à l'éclairage des phares où l'on emploie de grands réflecteurs paraboliques, pour en augmenter l'effet sans multiplier le nombre de ces réflecteurs. En le plaçant au foyer d'un miroir parabolique de 31 pouces d'ouverture, il a trouvé que l'intensité de la lumière dans l'axe était une fois et demie aussi grande que celle que donnait le même réflecteur armé d'un petit bec, et que l'effet total (c'est-à-dire la somme des rayons divergents réfléchis horizontalement) était augmenté dans le rapport de 2,7 à 1. Ainsi l'on voit que, dans les appareils d'éclairage composés de réflecteurs semblables, on pourrait presque tripler leur effet actuel par la simple substitution de becs doubles à la place de ceux dont ils sont garnis, si l'importance du phare faisait passer par-dessus la considération d'une augmentation de dépense d'huile plus grande que l'accroissement de lumière.

Quant aux becs à trois mèches, et surtout à quatre mèches concentriques, ils consomment une trop grande quantité d'huile pour être

[1] Cette expérience n'ayant été faite qu'une fois, on ne peut pas répondre que le résultat obtenu puisse être considéré comme une mesure moyenne. [*Note ajoutée par l'auteur à sa première rédaction.*]

[2] Il est nécessaire que l'huile surabondante qui s'écoule soit égale à celle qui se consume, pour les becs à trois mèches, et double de celle-ci dans les becs à quatre mèches. La surabondance pourrait être moins grande, à la rigueur; mais il y a beaucoup d'avantage à la porter à ce degré-là. On conçoit qu'on ne peut le faire commodément qu'à l'aide de pompes mues par un mécanisme d'horlogerie.

N° VIII (B). adaptés aux miroirs paraboliques. Leur application à l'éclairage des phares ne devient avantageuse que si on les place au centre du système lenticulaire proposé par M. Fresnel, et dont M. le directeur général des ponts et chaussées a ordonné l'exécution. Dans ce cas, il s'agit de réunir en un foyer commun, et sous un petit volume, toutes les lumières destinées à l'éclairage du phare; et c'est uniquement pour atteindre ce but que ces becs à trois et à quatre mèches ont été exécutés. Ils satisfont très-bien aux conditions du problème, par la blancheur et l'intensité de la lumière qu'ils donnent, et ils simplifient en même temps le service du phare. Ils ont même l'avantage, comme l'expérience l'a démontré, de ne pas éprouver une diminution aussi sensible de lumière que les becs ordinaires par la carbonisation des mèches.

N° VIII (C).

EXPLICATION DES PLANCHES.

EXPLICATION DE LA PREMIÈRE PLANCHE[a].

La figure 1 représente la coupe verticale de l'appareil lenticulaire, suivant son axe, et la figure 2, sa projection horizontale, prise immédiatement au-dessus des miroirs.

Dans la figure 1 on n'a coupé que l'armature, les lentilles et les miroirs; la lampe et la colonne sont simplement en élévation. Dans la figure 2 on a supprimé les traverses XX, YY de la figure 1, qui supportent et recouvrent les cadres des grandes lentilles, afin de laisser mieux voir celles-ci et de ne pas trop compliquer le dessin.

BABDEED, armature de fer qui porte les grandes et les petites lentilles avec leurs miroirs.

A, axe de l'armature, dont l'extrémité supérieure tourne entre trois petits galets horizontaux *gg*.

G, G, galets verticaux beaucoup plus forts, sur lesquels tourne l'appareil. Ces galets roulent sur une plaque de fonte soutenue par la saillie du chapiteau de la colonne creuse C'CC".

L'extrémité inférieure C" de cette colonne de fonte traverse la voûte de la plate-forme de la lanterne et y est scellée. L'extrémité supérieure C' porte la table de service TT, sur laquelle repose la lampe FVH, montée sur un pied de fer PP.

La partie supérieure V du réservoir contient l'huile, et la partie inférieure H, le mécanisme qui fait marcher les pompes.

---

[a] Voyez planche IV.

N° VIII (C). Le poids moteur attaché à la corde H descend dans l'intérieur de la colonne de fonte par un trou pratiqué au milieu de la table de service.

F, foyer commun des grandes et des petites lentilles, répondant au centre du bec quadruple, dont les bords supérieurs doivent être à 3 centimètres audessous de ce point.

L, L, L, grandes lentilles annulaires à échelons; *l*, *l*, *l*, petites lentilles additionnelles formant une espèce de toit en pyramide octogonale tronquée audessus du bec quadruple, dont la cheminée passe par l'ouverture supérieure de cette pyramide.

M, M, M, M, M, glaces étamées qui ramènent dans des directions horizontales les rayons lumineux réfractés par les petites lentilles. Ceux qui sont fournis par les grandes lentilles sont tracés en lignes perlées et désignés par la lettre R, tandis que ceux qui sortent des petites lentilles sont en lignes hachées et marqués de la lettre *r*.

DE, DE sont les jambes de décharge de l'armature, qui reportent tout le poids de l'appareil sur le manchon EE. Ce manchon est fixé sur une roue dentée qui s'appuie sur les galets G, G, et engrène avec une autre roue dentée, au moyen de laquelle la machine de rotation N lui communique son mouvement. On n'a point dessiné ici cette machine en entier; on s'est borné à indiquer la communication de mouvement.

Z, Z sont des liernes de fer qui relient entre elles les jambes de décharge de l'armature, et empêchent leur écartement.

N° VIII (C).

EXPLICATION DES FIGURES DE LA SECONDE PLANCHE [a].

Fig. 1. Plan d'un bec à deux mèches concentriques, produisant l'effet d'environ cinq lampes de Carcel, avec une légère économie dans la dépense d'huile.

Fig. 2. Plan d'un bec à trois mèches, qui équivaut à dix lampes de Carcel, pour l'effet et la dépense.

Fig. 3. Plan d'un bec à trois mèches dans lequel on a élargi le courant d'air central pour produire un plus grand volume de lumière. L'effet et la dépense de ce bec n'ont pas encore été mesurés. La mèche intermédiaire est un peu plus près de la mèche extérieure que de la mèche centrale, qui s'échauffe davantage.

Fig. 4. Élévation de ce bec.

Fig. 5. Plan d'un bec à quatre mèches, équivalant à peu près, pour l'effet et la dépense, à vingt lampes de Carcel. Les intervalles qui séparent les mèches et laissent passer les courants d'air diminuent un peu de largeur depuis la mèche centrale jusqu'à la mèche extérieure.

La coupe de ce bec quadruple est représentée dans la figure 6.

C, C', C'', C''' sont les crémaillères à l'aide desquelles on peut élever ou baisser chaque mèche.

AB est la projection horizontale du tuyau qui amène l'huile dans les quatre becs.

L, L, L, etc., sont de petites lames de fer-blanc par lesquelles les becs sont soudés les uns aux autres, et qui sont posées de champ pour ne pas gêner le passage de l'air.

P est une vis de pression qui sert à maintenir à la hauteur que l'on veut la robe RRR, qui porte la cheminée. Cette vis a l'inconvénient de déformer le bec quand on la serre trop; elle était nécessaire pour chercher la hauteur du coude la plus favorable à la blancheur de la lumière; mais cette hauteur une fois déterminée, il vaut mieux, pour l'usage ordinaire, que la robe du bec soit soudée.

---

[a] Voyez planche V.

N° VIII (C). Fig. 7. Détail de l'assemblage à baïonnette de l'anneau mobile qui porte une mèche sur l'anneau fixe soudé à la tige de la crémaillère.

NOTA. Toutes les figures ci-dessus sont dessinées sur une échelle de moitié.

Fig. 8, sur une échelle d'un quart. Élévation du bec quadruple surmonté de sa cheminée E, portant une rallonge de tôle, F, qu'on peut allonger ou raccourcir à l'aide d'une crémaillère.

Il est bien préférable d'employer, au lieu de cette rallonge mobile, un obturateur au moyen duquel on augmente ou l'on diminue à volonté la vitesse du courant d'air, ainsi que nous l'avons fait remarquer [note de la page 129]. Nous regrettons que le temps ne nous ait pas permis d'en donner ici le dessin; mais on peut, à la rigueur, trouver tous les renseignements nécessaires dans la note citée.

NOTA. M. Wagner, auquel on doit des perfectionnements intéressants dans la construction des horloges publiques, a fait des lampes à mouvement d'horlogerie qui montent quatre ou cinq livres d'huile par heure dans un bec quadruple de 9 centimètres de diamètre, et l'arrosent ainsi d'une quantité d'huile très-surabondante, puisqu'il n'en brûle au plus qu'une livre et demie par heure. Les pompes qui élèvent l'huile sont mues par un fort ressort ou par un poids : dans le premier cas, l'effet dure six heures; dans le second cas, il peut se prolonger pendant seize heures et plus, sans que l'horloge ait besoin d'être remontée. Les becs à deux et à trois mèches concentriques, qui pourraient être souvent appliqués avec avantage à l'éclairage des boutiques et des grandes salles, consumant beaucoup moins d'huile, M. Wagner fabriquerait aisément, pour ces becs, des lampes à poids ou à ressorts, qui fonctionneraient pendant la durée des plus longues soirées et même des plus longues nuits d'hiver, sans être remontées.

N° VIII (D).

PROCÈS-VERBAL

DE L'EXPÉRIENCE FAITE, LE 20 AOÛT 1822, PAR LA COMMISSION DES PHARES,

SUR L'APPAREIL LENTICULAIRE À FEUX TOURNANTS

DESTINÉ À L'ÉCLAIRAGE DU PHARE DE CORDOUAN[*].

Le 20 août 1822, les membres de la Commission des phares soussignés se sont rendus à Notre-Dame de Montmélian, près de Mortefontaine, pour observer de ce lieu les effets de l'appareil lenticulaire placé sur l'arc de triomphe de la barrière de l'Étoile, à 16,400 toises de distance.

Quoiqu'il ne fît pas clair de lune, les circonstances atmosphériques étaient plutôt défavorables qu'avantageuses au phare, à cause des vapeurs que la grande chaleur du jour avait élevées et qui formaient à l'horizon un brouillard assez sensible.

---

[*] A la minute de ce procès-verbal se trouve annexée la pièce suivante :

« PROGRAMME DE L'EXPÉRIENCE DU 20 AOÛT 1822.

« Le phare sera allumé à 8 heures.

« Il restera fixe et une des lentilles dirigée sur Montmélian jusqu'à 8 heures et demie.

« A 8 heures et demie il commencera à tourner jusqu'à 10 heures 10 minutes, avec une « vitesse uniforme, donnant une révolution entière en 8 minutes, ce qui fera une minute « d'intervalle entre les milieux ou les fins de deux éclats consécutifs.

« A 10 heures les flammes du bec seront abaissées de manière que leur hauteur moyenne « n'excède pas celle du coude de la cheminée, et on les tiendra dans cet état jusqu'à 10 heures « 10 minutes; après quoi on leur rendra leur longueur ordinaire, et on laissera le phare « allumé jusqu'à 11 heures.

« A partir de 10 heures 10 minutes, on accélérera le mouvement de rotation de l'appa-« reil, de manière que chaque révolution entière ne dure que 6 minutes, d'où résultera un « intervalle de 45 secondes entre les fins de deux éclats consécutifs.

« A 11 heures on éteindra. »

N° VIII (D). Néanmoins les éclats ont paru très-brillants, surtout dans leurs secondes moitiés, provenant des grandes lentilles. La lumière était sensiblement rougeâtre, même à l'instant de son plus vif éclat : ce qui tenait sans doute au léger brouillard dont l'horizon était couvert; car la personne qui habite la maison d'où se faisait l'observation a assuré avoir vu le même feu très-blanc et plus brillant lors des expériences précédentes.

Pendant la première partie de l'expérience, la vitesse du mouvement de rotation de l'appareil avait été réglée de manière que les éclats se succédassent de minute en minute; alors la durée moyenne de chaque éclipse était de 40 secondes, et celle de l'apparition de la lumière, de 20 secondes. Dans la seconde partie de l'expérience, où les éclats se succédaient de 45 en 45 secondes, les éclipses étaient de 30 secondes, et les éclats de 15 secondes. En un mot, la durée de l'apparition était la moitié de la durée de l'éclipse.

En regardant le phare au travers d'un prisme de cristal de roche achromatisé, qui donnait deux images suffisamment séparées, on a remarqué que la durée de l'apparition de la lumière n'était presque pas diminuée, quoique son intensité fût ainsi réduite à moitié dans chaque image, et même à un peu moins, vu la perte occasionnée par les réflexions partielles sur les deux faces du cristal. L'instant où l'éclat de la petite lentille finit et se renoue à celui de la grande, qui présentait à l'œil nu un affaiblissement marqué, n'offrait pas encore d'éclipse absolue au travers du prisme de cristal de roche.

Enfin, en regardant le phare à travers deux prismes superposés et tournés de manière à diviser la lumière en quatre faisceaux d'égale intensité, on apercevait à peine la première partie de l'éclat provenant de la petite lentille; tandis qu'on voyait très-bien la seconde partie, produite par la grande lentille, qui présentait dans chaque image un point lumineux assez brillant. Or chaque image ne contenait que le quart de la lumière totale, diminuée encore par les pertes provenant des quatre réflexions partielles sur les surfaces des deux prismes.

Signé : LE CONTRE-AMIRAL,

E. HALGAN. DE ROSSEL.

L'INSPECTEUR GÉNÉRAL DES TRAVAUX MARITIMES, L'INSPECTEUR GÉNÉRAL DES CONSTRUCTIONS NAVALES,

J. SGANZIN. ROLLAND.

N° IX.

EXTRAIT DU MÉMOIRE

SUR

UN NOUVEAU SYSTÈME D'ÉCLAIRAGE DES PHARES[a],

PAR M. AUGUSTIN FRESNEL,

INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES.

[*Bulletin de la Société philomathique*, cahier d'Août 1822.]

Dans ce mémoire, lu à l'Académie des sciences le 29 juillet dernier [1822], M. Fresnel a décrit un appareil lenticulaire de son invention, destiné à l'éclairage des phares, et dont M. Becquey, directeur général des ponts et chaussées, a ordonné la construction, qui est maintenant terminée. Cet appareil consiste principalement en huit grands verres lenticulaires carrés de $0^m,76$ de côté et de $0^m,92$ de foyer, formant par leur réunion un prisme vertical à base octogonale, dont le centre est le foyer commun des huit lentilles. En ce point est placée la lumière unique qui éclaire le phare; elle est produite par un bec de lampe portant quatre mèches concentriques, lequel équivaut à dix-sept lampes de Carcel, pour la lumière qu'il donne et la quantité d'huile

[a] Cet Extrait, l'une des rares publications de l'auteur sur son nouveau système de phares, nous a paru devoir être reproduit comme offrant en peu de mots l'analyse complète du Mémoire N° VIII.

N° IX qu'il consomme. Celle-ci est d'une livre et demie par heure, lorsque la combustion a le plus d'activité. La description détaillée de ces sortes de becs et les moyens d'en régler la combustion ont été publiés par MM. Arago et Fresnel, dans le cahier des *Annales de chimie et de physique* du mois d'avril 1821, et dans le numéro cciv du *Bulletin de la Société d'encouragement* [cahier de juin 1821]; ainsi nous nous dispenserons d'entrer dans aucun détail à ce sujet. Nous rappellerons seulement qu'il est nécessaire que les bords des becs à mèches multiples soient continuellement arrosés d'une quantité d'huile très-supérieure à celle qu'ils consument. Cette huile surabondante est amenée dans le bec quadruple de l'appareil en question, au moyen d'un mouvement d'horlogerie, conçu et exécuté par M. Wagner avec son talent ordinaire. Elle retombe dans le réservoir de la lampe, d'où elle est puisée et portée de nouveau dans les mèches, à l'imitation des lampes de Carcel.

Tous les rayons lumineux partis du foyer commun, et qui ne s'écartent pas du plan horizontal de plus de 22 degrés et demi en dessus et en dessous, sont réfractés par les huit lentilles et ramenés à des directions parallèles à leurs axes; car on sait que les verres lenticulaires ont, comme les miroirs paraboliques, la propriété de rendre parallèles les rayons divergents partis de leur foyer, et qu'en un mot ils font par réfraction ce que les miroirs paraboliques font par réflexion. Si l'objet lumineux placé au foyer commun des huit lentilles n'était qu'un point, et que de plus les aberrations de sphéricité et de réfrangibilité des verres fussent parfaitement corrigées, les rayons qui sortent de chaque lentille seraient exactement parallèles. Mais les dimensions de l'objet éclairant occasionnent une divergence d'où résulte, au lieu d'un faisceau cylindrique, un cône lumineux dont l'étendue angulaire est de 6 degrés et demi à 7 degrés, pour un bec quadruple de $0^{m},09$ de diamètre, tel que celui qui est employé dans cet appareil. Ces huit cônes lumineux laissent donc entre eux des intervalles angulaires de 38 à 38 degrés et demi. En tournant autour de la lumière centrale, l'appareil lenticulaire promène sur tous les points de l'horizon les cônes lumineux et les intervalles obscurs qui les séparent, et présente ainsi à l'observateur

éloigné une succession d'éclats et d'éclipses, dans laquelle ceux-là n'ont guère que le sixième de la durée de celles-ci. N° IX.

On pourrait augmenter la durée des éclats ou la divergence des cônes lumineux, soit en augmentant le volume de l'objet éclairant, ce qui nécessiterait une plus grande dépense d'huile, soit en rapprochant ou éloignant les lentilles de leur foyer commun. Mais par ce dernier moyen on diminuerait l'intensité des éclats dans un bien plus grand rapport qu'on n'augmenterait leur durée; et si l'on doublait celle-ci, par exemple, on réduirait l'intensité au quart.

M. Fresnel a trouvé le moyen d'augmenter considérablement la durée des éclats sans accroître le volume de l'objet éclairant ou la dépense d'huile, et sans rien changer à la disposition des huit grandes lentilles, dont la lumière conserve toute son intensité. Pour cela il reçoit sur huit petites lentilles additionnelles, de 0m,50 de foyer, les rayons qui passent par-dessus les grandes, et qui sans cela seraient perdus. Ces lentilles additionnelles forment au-dessus de la lampe comme une espèce de toit en pyramide octogonale tronquée. Les rayons qu'elles réfractent et concentrent en huit cônes lumineux sont ramenés à des directions horizontales par leur réflexion sur des glaces étamées placées au-dessus de ces lentilles additionnelles. La projection horizontale de l'axe de chaque petite lentille forme un angle de 7 degrés avec celui de la grande lentille correspondante, et le précède dans le sens du mouvement de rotation de l'appareil, de manière que l'éclat de la petite lentille précède celui de la grande avec lequel il se renoue. On a obtenu de cette manière, même pour une distance de 16,000 toises, des apparitions de lumière dont la durée était égale à la moitié de celle des éclipses [a].

Quant à l'intensité et à la portée de la partie de l'éclat produite par les grandes lentilles, il suffit, pour en donner une idée, de dire que, dans les observations géodésiques faites, l'automne dernier, sur les côtes de France et d'Angleterre, par MM. Arago et Mathieu, une len-

[a] Voyez la note de l'éditeur sur le paragraphe 27 du Mémoire N° VIII, p. 113.

N° IX. tille semblable, éclairée par un bec quadruple, a été observée de jour, avec une lunette, à cinquante milles de distance, ou dix-sept lieues, et se voyait très-bien à l'œil nu une heure après le coucher du soleil. Elle paraissait aussi brillante qu'un phare anglais à feu fixe situé à peu près dans la même direction, mais éloigné seulement de quinze milles ou cinq lieues.

On pourrait songer à diriger aussi vers l'horizon les rayons qui passent par-dessous les grandes lentilles, et à s'en servir pour prolonger encore la durée des éclats; mais il paraît difficile de le faire sans gêner le service de la lampe, qu'il importe de rendre très-commode. M. Fresnel a donc préféré laisser ces rayons tomber directement dans la mer, où ils ne seront pas tout à fait sans utilité en éclairant les abords du phare[a].

La lampe repose sur une table fixe, que soutient une colonne de fonte, qui porte en même temps sur la saillie de son chapiteau tout le poids de l'appareil lenticulaire. C'est sur cette saillie que roulent les galets destinés à faciliter le mouvement de rotation qui, comme dans les autres phares à feux tournants, est produit par un poids et réglé par une horloge. Les pompes de la lampe sont mues par un poids beaucoup plus petit, qui descend dans l'intérieur de la colonne de fonte. Une lampe de sûreté, semblable à l'autre, mais à ressort et placée sur la table de service, pourra être allumée sur-le-champ et substituée à la lampe à poids, dans le cas où les pompes de celle-ci viendraient à éprouver quelque dérangement subit.

L'immobilité de la lumière centrale permet d'appliquer, avec la plus grande facilité, à cet appareil à feux tournants tous les perfectionnements économiques que l'expérience a apportés ou pourra apporter encore dans la manière de produire la lumière. Si l'on veut, par exemple, éclairer le phare au moyen du gaz provenant de la distillation des mauvaises huiles, il suffira de faire passer par l'intérieur de la colonne de fonte un tuyau communiquant par son extrémité inférieure avec le

---

[a] Voyez le *post-scriptum* du N° VIII, p. 125.

gazomètre, et portant sur son extrémité supérieure un bec à quatre, N° IX.
cinq ou six flammes concentriques.

Il était essentiel de diminuer autant que possible l'épaisseur des verres lenticulaires, afin que leur poids ne fatiguât pas trop la machine de rotation, qui fait tourner le système, et que les rayons lumineux qui les traversent n'éprouvassent pas un affaiblissement trop sensible. Pour cet effet, les lentilles ont été faites *à échelons*, c'est-à-dire que les anneaux concentriques dont elles sont composées, au lieu d'être terminés par une surface sphérique continue, forment des ressauts ou échelons; et la courbure ainsi que l'inclinaison de la surface extérieure de ces anneaux relativement à la surface tournée du côté du foyer, qui est plane, ont été déterminées de manière à rendre parallèles à l'axe de la lentille les rayons émergents partis de son foyer. C'est Buffon qui a eu le premier l'idée des lentilles à échelons; mais il les supposait faites d'un seul morceau de verre, ce qui rend leur exécution presque impraticable, par la difficulté d'user et de polir la surface du verre avec de pareils ressauts; tandis que les anneaux des lentilles de M. Fresnel sont travaillés séparément, puis collés bord à bord. Chaque anneau n'est pas même d'une seule pièce, mais composé de deux, trois ou quatre grands arcs de cercle, selon l'étendue de leur diamètre, à cause de la difficulté qu'on éprouve à couler de pareils prismes courbes, quand leur longueur excède dix-huit pouces[a]. De cette manière la fonte des anneaux et leur travail deviennent aussi faciles que ceux des verres ordinaires d'optique.

Buffon avait supposé que les surfaces courbes des divers anneaux qui composent une même lentille à échelons devaient être sphériques et concentriques; mais le calcul apprend que les arcs générateurs des surfaces qu'il convient de donner aux anneaux pour la réunion des rayons au foyer, non-seulement n'ont point le même centre, mais que leurs centres ne sont pas situés sur l'axe de la lentille; en sorte qu'en

---

[a] Les progrès de la fabrication ont permis depuis de couler d'une seule pièce et de tailler au tour les plus grands anneaux des panneaux dioptriques.

N° IX. tournant autour de cet axe ils n'engendrent pas des portions de surfaces sphériques, mais des surfaces du genre de celles qu'on appelle *annulaires*, lesquelles ne peuvent pas être travaillées dans des bassins par le procédé ordinaire. Celui qu'emploie M. Soleil, opticien, qui a entrepris la construction de ces grandes lentilles, a le double avantage de l'exactitude et de l'économie. Il lui a été indiqué par M. Fresnel.

L'appareil que nous venons de décrire donne des éclats plus longs et beaucoup plus brillants surtout que ceux des phares éclairés par huit grands réflecteurs accouplés. Il résulte des expériences comparatives faites par MM. Arago, Mathieu et Fresnel sur les lentilles carrées de $0^{m},76$ et sur des réflecteurs de 28 à 30 pouces de diamètre, les plus grands qu'on ait employés jusqu'à présent dans l'éclairage des phares, que la somme totale des rayons concentrés dans le plan horizontal ou l'*effet utile* des huit grandes lentilles éclairées par le bec quadruple est trois fois plus grand que celui des huit réflecteurs de 30 pouces d'ouverture portant chacun un bec ordinaire à double courant d'air. Si donc on ajoute aux rayons fournis par les grandes lentilles ceux que donnent les petites lentilles additionnelles, on voit que l'appareil lenticulaire complet doit produire un effet plus que triple de celui qu'on obtient avec huit réflecteurs de 30 pouces; or la dépense d'huile est à peine accrue dans la même proportion que l'effet utile, c'est-à-dire que la lumière produite est employée avec autant d'économie au moins dans cet appareil lenticulaire que dans les plus grands réflecteurs armés des plus petits becs. De plus, le poids total de l'appareil lenticulaire n'excède que d'un huitième environ celui d'un phare composé de huit réflecteurs pareils, et le prix n'est augmenté que des deux tiers environ, tandis que l'effet est triplé.

Mais un autre avantage bien important des lentilles, et qui suffirait pour leur faire donner la préférence, lors même qu'elles ne produiraient pas des effets supérieurs à ceux des réflecteurs, c'est l'inaltérabilité du verre et la durée de son poli. Leur entretien sera presque nul, et leur nettoyage donnera beaucoup moins de peine aux gardiens que celui des réflecteurs, qu'il faut frotter souvent avec du rouge d'Angleterre pour

leur rendre leur éclat. Il résulte de la position du bec quadruple, dont le centre est éloigné des grandes lentilles de près d'un mètre, qu'elles ne seront point exposées aux taches d'huile, comme les réflecteurs qui portent les becs de lampe dans leur intérieur; en sorte que, le plus souvent, il suffira de les épousseter avec un plumeau, et l'on aura rarement besoin de les essuyer. Ainsi elles conserveront presque indéfiniment la puissance d'effet qu'elles ont en sortant de l'atelier de l'opticien; tandis que les réflecteurs ne tardent pas à se ternir et à se dépolir, et il doit même arriver souvent que, par un peu de négligence de la part des gardiens, ils n'ont pas tout le brillant dont ils sont encore susceptibles. Il faut d'ailleurs les argenter de nouveau de temps en temps, et les lentilles n'exigent aucun entretien équivalent. N° IX.

La construction de ces grandes lentilles ne sera pas seulement utile à l'éclairage des phares; elle servira sans doute aussi à l'avancement de la science. Elle lui fournit un instrument puissant avec lequel on pourra soumettre à la plus vive chaleur, dans l'intérieur d'un ballon de verre, des corps qu'on voudra fondre ou volatiliser en les soustrayant à l'action de l'air, ou en les mettant en contact avec un autre gaz. Beaucoup d'expériences qui ne pourraient être faites ni avec le chalumeau ordinaire, ni avec celui de Newmann, le seront facilement de cette manière. Peut-être devra-t-on par la suite à ces grands verres ardents des découvertes aussi surprenantes que celles dont la pile de Volta a enrichi la chimie.

S'ils rendent des services importants aux savants, et surtout aux navigateurs, on en sera redevable au zèle éclairé avec lequel M. Becquey accueille toujours les inventions utiles et sait en hâter les perfectionnements[a].

---

[a] Suit, dans le *Bulletin de la Société d'encouragement*, une *Explication des figures*, qui n'est que la répétition presque textuelle de celle du N° VIII (p. 133), et que nous avons en conséquence supprimée. — Jugeant d'ailleurs inutile de reproduire les deux éditions de la planche [IV], nous avons pris pour modèle celle du Bulletin comme la plus complète.

X.

APPENDICE AU MÉMOIRE

SUR

UN NOUVEAU SYSTÈME DE PHARES[a].

N° X (A).

NOTE

SUR L'APPAREIL LENTICULAIRE À FEUX TOURNANTS

IMAGINÉ PAR M. AUGUSTIN FRESNEL.

[Adressée au major Colby, le.............. 1823[b].]

Cet appareil lenticulaire a l'avantage de produire des feux beaucoup plus brillants que les autres appareils d'éclairage à réflecteurs para-

---

[a] Nous reproduisons, comme appendice au Mémoire N° VIII, plusieurs pièces détachées. Les trois premières avaient été réunies par l'auteur dans une même enveloppe avec cette suscription : *Notes sur les prix, les avantages et les effets des appareils lenticulaires.* Elles présentent, avec d'inévitables redites, quelques observations intéressantes, qui ne pouvaient guère être produites isolément. Nous plaçons à la suite de ces Notes un court extrait emprunté aux registres de calculs d'Augustin Fresnel, et relatif à la détermination des éléments des lentilles polyzonales.

[b] Le major Colby, à qui furent adressées les deux Notes (A) et (B), en réponse à ses questions sur le nouveau système de phares, avait été chargé, conjointement avec MM. Kater, Arago et Mathieu, de rattacher la mesure de la méridienne de France à la triangulation

N° X (A). boliques employés jusqu'à présent. Son diamètre n'est que de 2 mètres, et il suffit que la lanterne de phare dans laquelle on le place ait 3 mètres de largeur pour que le service puisse se faire commodément. Quant à sa hauteur, elle est de 2 mètres à partir du dessous des lentilles, et n'exige pas ainsi, dans le vitrage de la lanterne, plus d'étendue verticale qu'il n'en a ordinairement. Il est seulement nécessaire que la lanterne ou son soubassement présente au-dessous des lentilles une hauteur de... [3 mètres environ], pour y placer le reste de l'appareil et la machine de rotation.

Comparé aux réflecteurs anglais de 20 pouces d'ouverture, l'appareil lenticulaire produit un effet équivalent à celui de trente-cinq réflecteurs pareils, en tenant compte à la fois et de la vivacité de la lumière et de l'étendue des angles éclairés, c'est-à-dire de la somme totale des rayons lumineux que l'appareil, en tournant, envoie dans l'œil du navigateur.

Les lentilles, à l'instant de leur maximum d'éclat, donnent une lumière sept fois et demie aussi vive que les réflecteurs anglais, en adaptant même à ceux-ci une lampe meilleure que celle qui nous a été envoyée d'Angleterre. La lumière des lentilles est en même temps beaucoup plus blanche.

Il résulte d'une observation faite sur l'appareil lenticulaire à 25,000 mètres de distance (environ 6 lieues de poste de France) que, lorsque l'intervalle de temps compris entre les milieux de deux éclats consécutifs est de 68 secondes, la durée de chaque éclat est de 10 secondes, et celle de l'éclipse de 58 secondes, c'est-à-dire que la durée de l'éclat est environ le sixième de celle de l'éclipse.

A l'aide d'un appareil additionnel éclairé par la même lampe, et qui n'occasionne ainsi aucune augmentation dans la dépense d'huile,

---

faite en Angleterre. Dans cette opération géodésique exécutée en 1821 et 1822, on se servit, pour signal nocturne, d'une lentille polyzonale illuminée par un bec à mèches concentriques; et le major, frappé de la puissance de cet appareil, s'était proposé sans doute d'en provoquer l'application à l'éclairage des côtes britanniques.

on peut doubler la durée de ces éclats et les porter à 20 secondes[1]. N° X (A).
Alors les éclipses ne sont plus que de 48 secondes, c'est-à-dire qu'elles n'ont plus que deux fois et demie la durée de ces éclats. Cet appareil additionnel n'augmente le poids du système et son prix que d'un cinquième environ.

M. Soleil, opticien, chargé par M. Becquey, directeur général des ponts et chaussées, de la construction des phares lenticulaires, s'engage à fournir à Monsieur le major Colby un appareil complet, y compris les lentilles de rechange, les lampes et l'armature de fer forgé, pour la somme de 25,000 francs. On ne comprend pas ici la machine de rotation, que Monsieur le major préférera peut-être faire exécuter en Angleterre. — Prise à Paris, chez M. Wagner, elle coûterait de 3,000 à 3,500 francs.

Si Monsieur le major Colby ne jugeait pas nécessaire de prolonger au delà de 10 secondes la durée des éclats, le phare lenticulaire, sans appareil additionnel, lui coûterait seulement 20,600 francs.

M. Soleil, ne pouvant s'occuper de la construction de cet appareil qu'après avoir terminé celui qui lui a été commandé pour le phare de Cordouan, ne pourrait guère achever le second avant le mois de septembre prochain [1823]. Peut-être sera-t-il fait plus tôt; mais il n'oserait s'engager à le livrer à Monsieur le major Colby avant cette époque.

L'éclairage au gaz peut être substitué sans difficulté à l'éclairage à l'huile dans l'appareil lenticulaire; mais il serait toujours prudent d'avoir des lampes, pour le cas où, par un accident, le gaz viendrait à manquer.

Si Monsieur le major Colby fait à M. Soleil la commande d'un phare lenticulaire, et désire y appliquer l'éclairage au gaz, je lui communiquerai très-volontiers mes idées et les résultats de mes expériences à

[1] Il s'en faut de beaucoup cependant que la quantité totale de lumière soit doublée, parce que celle qui forme ce prolongement de l'éclat est bien plus faible que celle du maximum; mais elle a assez de vivacité pour être aperçue à 6 lieues, et sans doute à des distances plus considérables, même par un beau clair de lune.

N° X (A). ce sujet, expériences que je n'ai pas encore commencées, mais sur le succès desquelles je crois pouvoir compter d'avance.

Je prie Monsieur le major Colby de vouloir bien m'accuser réception de cette note, en me faisant savoir s'il se décide à demander à M. Soleil un appareil lenticulaire.

[Paris, le. . . . . 1823.]

N° X (B).

NOTE

SUR LE PRIX ACTUEL DES PHARES LENTICULAIRES (*).

Lorsque Monsieur le major Colby demanda des renseignements sur le prix des appareils lenticulaires destinés à l'éclairage des phares, je lui indiquai des prix un peu élevés, parce qu'à cette époque l'opticien qui fabrique ces grandes lentilles, M. Soleil, ne croyait pas pouvoir les donner à meilleur marché. Il a reconnu maintenant, par l'expérience, que les procédés de fabrication qu'il emploie, et que je lui ai suggérés, lui permettaient de vendre ses lentilles à des prix beaucoup plus modérés.

Voici une estimation approximative d'un grand appareil lenticulaire à feux tournants :

Neuf grandes lentilles annulaires, y compris celle de rechange, ayant chacune 0m,76 en carré, à 1,200 fr. chacune, avec le cadre de cuivre, coûteront	10,800f
Neuf petites lentilles additionnelles, y compris celle de rechange, à 333 fr. 33 cent. chacune avec leurs glaces étamées............	3,000
Total pour la partie optique de l'appareil fournie par M. Soleil.	13,800f

Voici maintenant le détail estimatif qui m'a été présenté par M. Wagner, mécanicien, pour les autres parties de l'appareil :

Armature de fer qui porte tout l'appareil lenticulaire..........	4,000f
Machine de rotation, de cuivre..........................	3,000
Échappement de rechange, quadruple......................	200
A reporter...........	7,200

(*) Complément de la Note précédente.

N° X (B)

Report.	7,200f
Colonne de fonte de 2m,4 ou 2m,5 de longueur.	500
Table de service, avec sa monture de fer.	160
Pièces de communication de la machine de rotation à l'appareil. . .	340
Le chariot à galets sur lequel tourne l'appareil.	250
Pour le pivot du haut, ou croisillon de fer monté avec galets.	50
Deux grandes lampes portant chacune un bec à quatre mèches concentriques, dans lequel l'huile est amenée par un mouvement d'horlogerie.	2,000
NOTA. Dans l'une de ces lampes les pompes sont mues par un poids et dans l'autre par un ressort. C'est la première qui servira habituellement; la seconde est destinée à la remplacer en cas d'accident.	
Montant des objets fournis par M. Wagner.	10,500f
Montant de la partie optique de l'appareil fournie par M. Soleil	13,800f
Prix total de l'appareil.	24,300f

Comme j'ai sans doute omis dans ce détail quelques objets accessoires, on peut porter à 25,000 francs la dépense totale pour l'acquisition de l'appareil complet à feux tournants.

Le prix serait le même si aux huit grandes lentilles on substituait seize demi-lentilles, en les combinant avec les lentilles additionnelles, comme je l'ai indiqué dans mon mémoire, page 27 [a].

On pourrait faire aussi avec des lentilles un phare à feu fixe, qui serait également supérieur aux phares composés de réflecteurs et ne coûterait que 22,000 francs, ou peut-être seulement 21,000 francs, parce qu'on n'aurait plus besoin de machine de rotation. La forme et la disposition des lentilles seraient déterminées d'après l'étendue angulaire d'horizon qu'il s'agirait d'éclairer; et dans le cas où cet angle ne serait que la moitié ou les deux tiers de la circonférence, il pourrait arriver qu'il y eût encore une diminution notable dans les frais de l'appareil.

Paris ce 19 mars 1823.

A. FRESNEL.

[a] Voyez N° VIII, note de l'auteur sur le paragraphe 40, p. 122.

N° X (C).

RÉPONSE

AUX QUESTIONS CONTENUES DANS LA NOTE ADRESSÉE PAR M. LE BARON FAGEL,

MINISTRE PLÉNIPOTENTIAIRE DES PAYS-BAS,

À SON EXC. LE MINISTRE DE L'INTÉRIEUR [a].

[3 mai et 1er septembre 1824.]

[M. Soleil, opticien, passage Feydeau, est l'artiste qui a fabriqué les lentilles et, en général, toute la partie optique de ces nouveaux appareils d'éclairage.

M. Wagner, horloger mécanicien, rue du Cadran, a construit l'armature qui porte l'appareil établi l'année dernière dans la tour de Cordouan, et l'horloge qui règle son mouvement de rotation. C'est aussi dans les ateliers du même artiste qu'ont été faites les grandes lampes à mouvement d'horlogerie employées à l'éclairage de ce phare.]

DÉTAIL ESTIMATIF D'UN APPAREIL DIOPTRIQUE À FEUX TOURNANTS TEL QUE CELUI DE CORDOUAN.

Chaque grande lentille annulaire, ayant 0m,76 en carré, coûte avec son cadre de cuivre 1,200 francs. Il en faut neuf, dont une de rechange......... 10,800f

Les lentilles moyennes, ou demi-lentilles, ayant la même hauteur verticale et une largeur moitié moindre, reviennent à 600 francs; mais il en faudrait mettre seize autour de la lumière centrale, et si l'on en prenait deux pour rechange, on voit que la dépense serait la même.

À reporter.......... 10,800

[a] La minute de cette réponse aux questions du ministre des Pays-Bas présente des ratures et des additions qu'explique ce second titre à l'encre rouge:

Note à joindre à mon Mémoire sur les phares dioptriques.

Nous reproduisons intégralement la première rédaction, en indiquant par des crochets les passages ou mots retranchés, et par des parenthèses les additions ou corrections de l'auteur. (Voyez la lettre à M. Maritz, du 17 mai 1824, N° XXVIIIbis.)

N° X (C).

Report.......... 10,800f

Neuf petites lentilles additionnelles, dont une de rechange, avec leurs cadres de cuivre et leurs miroirs, ensemble 3,000 francs (ce qui fait pour chacune 333 fr. 33 cent.)........................... 3,000

Les lampes portant trois mèches concentriques et dont les pompes sont mues, soit par un poids, soit par un ressort, coûtent 600 francs. — Une lampe à trois mèches, placée au centre d'un appareil aussi grand que celui de Cordouan, donnerait des éclats trop courts, à cause du peu de volume de sa flamme. Pour illuminer convenablement l'appareil en question, il faut un bec à quatre mèches, qui brûle 6,000 livres d'huile par an. Les lampes capables d'alimenter un pareil bec coûtent 1,000 francs, avec leur mouvement d'horlogerie à poids ou à ressort.

Pour assurer complétement la régularité du service, il est nécessaire d'en avoir trois, afin qu'il en reste toujours une de rechange au phare, lorsqu'on envoie l'une d'elles chez l'horloger pour la faire nettoyer.

Ces trois grandes lampes coûteront....................... 3,000

L'armature de fer forgé qui porte les lentilles verticales et les petites lentilles additionnelles, dans le phare de Cordouan, a coûté........ 4,000

La colonne de fonte et la table de service qui portent l'appareil et la lampe, l'armature de fer de cette table et le chariot à galets sur lequel pivote l'appareil coûtent ensemble......................... 1,224

L'horloge de cuivre qui règle le mouvement de rotation de l'appareil coûte.. 3,000

Corde, poulies, roues d'angle, pour établir la communication de mouvement entre l'appareil et l'horloge, pièces de rechange, ensemble. 552

Dans le phare de Cordouan, on a ajouté au système tournant un *appareil à feu fixe*, qui n'exige point de lampe nouvelle pour l'illuminer, et sert à recueillir et à renvoyer vers l'horizon les rayons passant par-dessous les grandes lentilles. Cet appareil, qui produit le même effet que quarante becs de quinquet, sans exiger la moindre augmentation dans la dépense d'huile, a coûté.......................... 2,686

Total de la dépense nécessaire pour l'acquisition d'un phare lenticulaire semblable à celui de Cordouan....................... 28,262f

[Nota. On n'a point employé de verres colorés dans les phares de France[*].]

---

[*] Ce moyen de distinction a été ultérieurement appliqué à quelques feux secondaires, notamment aux entrées de ports.



J'estime qu'un phare *à feu fixe*, de mêmes dimensions que l'appareil tournant de Cordouan, coûterait environ 23,000 francs, et que, étant illuminé par la même lampe, il donnerait de tous côtés une lumière équivalente à 300 becs de quinquet. Avec le gaz d'huile on pourrait porter cette intensité jusqu'à 4 ou 500 becs de quinquet. N° X (C).

OBSERVATIONS GÉNÉRALES.

L'appareil à feu fixe ajouté au feu tournant de Cordouan a au moins, en temps ordinaire, quatre lieues marines de portée; en sorte qu'à cette distance on ne perd pas le phare de vue pendant les éclipses. Il est spécialement destiné à donner aux marins la faculté de reconnaître à chaque instant la position de la tour de Cordouan, lorsqu'ils sont dans le voisinage des écueils dont elle est entourée. Les grandes lentilles du feu tournant, à l'instant de leur *maximum* d'éclat, produisent une lumière équivalente à 2,700 becs de quinquet : ainsi le feu fixe dont nous venons de parler a un éclat trop inférieur à celui-là pour ôter au phare le caractère de feu tournant à éclipses; il empêche seulement que les éclipses ne soient absolues dans un cercle de quatre lieues de rayon, et au delà prolonge un peu la durée des apparitions.

J'ai abandonné le projet d'augmenter la durée des éclats par l'appareil mobile suspendu sous les grandes lentilles [a], que j'avais indiqué dans le mémoire imprimé ci-joint; parce que, en y réfléchissant davantage, j'y ai trouvé plusieurs inconvénients. Il me paraît bien préférable de rendre fixe cet appareil additionnel, et de le faire reposer sur le bord de la table de service, comme à Cordouan.

Dans le phare de Cordouan, la durée des apparitions est de 20 secondes, et celle des éclipses de 40 secondes, à la distance de sept lieues. Ce feu a été vu à onze lieues marines; mais alors on n'apercevait plus que la portion la plus brillante des éclats des grandes

[a] Voyez le *post-scriptum* du Mémoire N° VIII, p. 125.

N° X (C). lentilles, et les apparitions ne duraient guère, je crois, que 4 ou 5 secondes.

Si l'on consentait à sacrifier une partie de la vivacité de ces éclats à leur durée, on pourrait rendre les apparitions égales aux éclipses, pour la distance moyenne de sept lieues marines, à l'aide d'un petit appareil additionnel, que je viens d'imaginer et que j'estime devoir coûter 1,000 à 1,200 francs[a]. Je pense que cette modification du feu de Cordouan serait agréable aux marins.

On obtiendra le même résultat, sans diminuer l'intensité de la lumière, en appliquant le gaz d'huile à l'éclairage de ce phare, comme nous venons de nous en assurer par l'essai d'un bec à gaz portant cinq couronnes concentriques[b]. Ce bec consomme par heure 25 pieds cubes de gaz, c'est-à-dire près de deux livres et demie d'huile, tandis que la lampe à quatre mèches ne brûle qu'une livre et demie d'huile. Mais on peut fabriquer le gaz avec des huiles de rebut, ou de mauvaises graisses; en sorte qu'il y aurait [plutôt économie qu'accroissement] (peu d'accroissement) de dépense. L'emploi du gaz procurerait encore l'avantage d'avoir des flammes d'une hauteur constante pendant toute la durée des nuits, sans exiger de soin de la part des gardiens; tandis qu'avec la lampe il faut, dans les longues nuits d'hiver, exciter deux ou trois fois les flammes, en tournant un peu l'obturateur de la cheminée.

On a observé à Cordouan, cet hiver, qu'il était inutile de faire du feu dans la lanterne pour empêcher l'huile de geler, et que l'huile chaude qui retombe sans cesse du bec dans le réservoir réchauffait assez celle du réservoir pour qu'elle fût tiède le matin. Quoique le froid soit beaucoup plus rigoureux sur les côtes de la Hollande, il est probable que la même huile, c'est-à-dire de l'huile de colza épurée, res-

---

[a] Il s'agit apparemment d'un appareil additionnel composé de lentilles cylindriques qui eussent été disposées autour de la flamme focale, combinaison embarrassante pour le service et à laquelle Fresnel paraît avoir bientôt renoncé. — Voyez à ce sujet notre seconde note sur la lettre du 21 juillet 1824, à M. Maritz (N° XIV).

[b] Expériences faites à l'hôpital Saint-Louis, du mois d'avril au mois d'août 1824 (N° XXII).

terait liquide dans la lampe, sans le secours d'un poêle, en ayant soin de la faire un peu chauffer avant de la verser dans le réservoir. N° X (C).

Les grandes lentilles de $0^m,76$ en carré donnent une lumière plus brillante qu'il n'est nécessaire dans les circonstances ordinaires, et nous pensons que celle des demi-lentilles a un éclat bien suffisant. Or un phare composé de seize demi-lentilles offre l'avantage d'un retour plus fréquent des éclats et permet d'en prolonger la durée sans trop augmenter celle des éclipses, en ralentissant le mouvement de rotation. Un appareil portant seize demi-lentilles et huit petites lentilles additionnelles, éclairé par la lampe à quatre mèches, donne en somme presque autant de durée de lumière que d'obscurité. En faisant précéder, de deux en deux éclats, celui d'une demi-lentille par celui d'une lentille additionnelle, ce phare présente le caractère particulier d'éclats alternativement longs et courts. C'est un moyen de distinction préférable, selon nous, à l'emploi des verres rouges, qui absorbent les deux tiers au moins de la lumière. Si l'on voulait avec seize demi-lentilles avoir des éclats égaux entre eux, il faudrait diviser en deux les petites lentilles additionnelles, afin qu'elles fussent aussi au nombre de seize, ce qui obligerait de les agrandir un peu. Alors les éclats seraient égaux aux éclipses, si l'on illuminait l'appareil avec la lampe à quatre mèches, et plus longs en employant le bec à gaz dont nous venons de parler.

On pourrait encore augmenter la durée des éclats en diminuant les dimensions de l'appareil, en les réduisant à moitié, par exemple; ce qui diminuerait de beaucoup les frais d'acquisition. Mais si l'on obtenait ainsi des éclats deux fois plus longs, on les rendrait quatre fois plus faibles, d'où résulterait au fond une perte de lumière plus considérable que l'économie qu'on aurait faite sur le prix de l'appareil; car la grande dépense est celle de l'huile, puisqu'elle s'élève chaque année à 5 ou 6,000 francs, et équivaut ainsi à une avance de fonds de plus de 100,000 francs. Il faut donc tirer tout le parti possible de l'huile qu'on brûle. Si l'on diminuait les dimensions de l'appareil, il faudrait aussi diminuer le diamètre du bec qui l'illumine. On pourrait faire et

N° X (C). l'on fera sans doute en France des appareils plus petits et consommant moins d'huile, pour les phares du deuxième ou du troisième ordre. Mais M. Soleil ne serait pas en mesure actuellement d'en exécuter promptement les verres lenticulaires, n'ayant pas encore établi les machines nécessaires [1], tandis qu'il pourrait livrer, quatre ou cinq mois après la commande, un appareil semblable à celui de Cordouan, ou composé de seize demi-lentilles, tel que celui qui a été exposé au Louvre l'année dernière.

M. Soleil a apporté plusieurs perfectionnements dans la construction des lentilles à échelons. Au lieu d'en réunir les pièces avec la colle de poisson, que les grandes variations hygrométriques de l'air peuvent faire travailler, il emploie maintenant pour cet objet le lut avec lequel on colle les glaces des cuves pneumatiques destinées à contenir de l'eau; et il assure complétement la solidité de l'assemblage par de petites clavettes de cuivre, qui sont encastrées à la fois dans les deux morceaux qu'elles servent à réunir.

Les principaux avantages des appareils dioptriques dits *lenticulaires* consistent :

1° En ce qu'ils exigent fort peu d'entretien et ne sont pas sujets, comme les réflecteurs métalliques, à perdre une grande partie de leur éclat par l'action de l'air et de l'humidité, ou la négligence des gardiens;

2° En ce qu'ils donnent, pour la même quantité d'huile consumée, beaucoup plus de lumière que les réflecteurs paraboliques. Ainsi, par exemple, il résulte des expériences comparatives faites à l'Observatoire

[1] M. Soleil vient de construire un petit phare à feu fixe du troisième ordre, qui peut éclairer tout l'horizon, et qui a parfaitement rempli mon attente. Quoiqu'il n'ait que $0^{m}.50$ de diamètre, illuminé par un bec à deux mèches, qui équivaut à $4\frac{1}{2}$ lampes de Carcel, il produit l'effet de 48 lampes de Carcel. Dans les huit angles du polygone, où les montants interceptent une partie de la lumière, elle équivaut encore à 23 lampes de Carcel. Ce petit appareil ne coûtera environ, avec sa lanterne, que 4,500 francs.

[*Note additionnelle.*] (Cet opticien s'occupe en ce moment de faire construire les machines nécessaires pour fabriquer des phares dioptriques de diverses dimensions, d'après les dessins que je lui ai donnés.)

royal, que les huit grandes lentilles à échelons du phare de Cordouan, N° X (C).
illuminées par une lampe à quatre mèches, envoient autant de lumière vers l'horizon que trente-cinq réflecteurs anglais de 20 pouces d'ouverture; et ce n'est pas la totalité de la lumière fournie par l'appareil dioptrique, puisqu'on n'a pas compris dans ce calcul la lumière des lentilles additionnelles situées au-dessus des grandes lentilles, ni celle de l'appareil à feu fixe, qui repose sur la table de service. Or la lampe à quatre mèches ne consomme qu'une livre et demie d'huile par heure, c'est-à-dire la même quantité d'huile que vingt-deux becs de quinquet; tandis que les trente-cinq réflecteurs exigeraient trente-cinq becs semblables. On voit donc que le nouveau système apporte une grande économie dans l'emploi de la lumière.

Paris, le [3 mai] (1er septembre) 1824.

A. FRESNEL.

[M. Fresnel, ingénieur des ponts et chaussées, membre de l'Académie des sciences et secrétaire de la Commission des phares, rue des Fossés-Saint-Victor, n° 19.]

N° X (D).

NOTES

SUR LE CALCUL DES LENTILLES ÉCHELONNÉES.

[Extraites des minutes de calculs d'A. Fresnel.][a]

CALCULS RELATIFS À LA GRANDE LENTILLE DE 0m,76 DE CÔTÉ.

FORMULES POUR LA LONGUEUR FOCALE D'UNE LENTILLE PLAN-CONVEXE, LE PLAN ÉTANT DU CÔTÉ DU FOYER

La formule rapportée page 86 de l'*Optique* de Lacaille devient, [lorsque R et d sont infinis],

$$x = \frac{pqr + eq^2 - epq}{p^2 - pq},$$

---

[a] En faisant pour cette publication le triage des manuscrits de Fresnel relatifs aux phares, nous avions d'abord écarté les calculs de lentilles comme peu utiles à reproduire, même par extraits, dans le recueil de ses œuvres. Il est facile en effet de déduire des formules connues des méthodes plus ou moins approximatives pour déterminer le profil générateur des panneaux dioptriques échelonnés; et quant aux détails un peu confus concernant les premières lentilles *polygonales* composées d'éléments à courbure sphérique, ils étaient devenus sans intérêt depuis que l'inventeur était arrivé à faire exécuter sous forme annulaire les zones concentriques de ses plus grands panneaux lenticulaires. Toutefois un nouvel examen de ces documents a rappelé notre attention sur quelques notes intercalaires qui nous ont paru l'ébauche d'une rédaction destinée à prendre place dans un nouveau mémoire sur l'éclairage des phares. Nous avons donc cru devoir annexer ces fragments aux diverses pièces composant l'appendice du Mémoire N° VIII. Nous n'avons d'ailleurs emprunté à la série de calculs que les formules et les résultats, en rétablissant au besoin les transitions par quelques mots additionnels entre crochets [ ], et nous y avons joint les croquis, où l'auteur a sacrifié les proportions à la clarté.

La marche suivie dans ces calculs peut être ainsi résumée: Fresnel, n'ayant en vue qu'une application pratique, a basé son étude sur ces deux considérations:

1° Que la taille des verres optiques ne pouvait s'exécuter, pour ses appareils de phares, avec la précision requise, que sous la forme circulaire comprenant les surfaces sphériques et annulaires;

2° Que l'aberration de sphéricité pourrait être suffisamment corrigée dans ses lentilles composées, eu égard au peu de largeur de leurs zones relativement au volume de la flamme focale.

Le tracé de l'arc de cercle du disque central devait résulter d'une moyenne à prendre

ou, divisant haut et bas par q^2, N° X (D).

$$x = \frac{\frac{pr}{q} + e - e\frac{p}{q}}{\frac{p^2}{q^2} - \frac{p}{q}};$$

---

entre deux rayons de courbure : celui que donne la formule relative à l'émergence parallèle à l'axe pour les incidences qui s'en écartent peu, et le rayon de courbure qui satisfait au même parallélisme pour les incidences répondant au contour du disque.

Pour les zones annulaires il fallait déterminer les deux angles réfringents répondant aux deux arêtes extérieures, d'après la même condition de l'émergence des rayons focaux parallèlement à l'axe de la lentille. De là se déduisait la position des tangentes aux deux bords de l'anneau, et conséquemment la longueur du rayon de courbure ainsi que les coordonnées de son centre. La solidité des assemblages nécessitait d'ailleurs un petit sacrifice de lumière en raison de l'épaisseur de 5 à 8 millimètres à donner au bord mince des anneaux concentriques, et en conséquence les panneaux lenticulaires ont été renforcés du côté intérieur par une surépaisseur de verre, dont il a été tenu compte dans les calculs.

Le profil ci-dessous d'une grande lentille de 0m,92 de foyer a été dressé d'après les résultats des calculs de Fresnel, à l'échelle de 0m,08 pour mètre. On y a joint le tableau des

Section diagonale d'un panneau lenticulaire de 1er ordre.

Axe de l'appareil.

Rayon focal.

NUMÉROS.	RAYONS extérieurs des zones.	COORDONNÉES des centres de courbure.		LONGUEURS des rayons de courbure.
		Abscisses.	Ordonnées.	
	mm	mm	mm	mm
1	140,00	454,79	0,00	483,50
2	208,15	488,55	13,08	543,60
3	262,40	513,18	31,72	598,62
4	309,20	540,81	57,00	659,77
5	350,50	565,27	84,86	719,84
6	387,44	588,00	114,93	779,48
7	422,23	614,35	151,50	846,45
8	456,23	636,90	189,55	911,30
9	490,00	660,11	230,17	980,30
10	523,23	683,41	280,60	1057,70

rayons de courbure et des coordonnées de leurs centres, pour éviter de surcharger la figure de cotes. — [Les abscisses sont rapportées au plan extérieur de la lentille.]

N° X (D). ou enfin, représentant $\frac{p}{q}$ par t, on a

$$x = \frac{tr - e(t-1)}{t^2 - t} = \frac{r}{t-1} - \frac{e}{t} \text{ (*)}.$$

Dans la première lentille construite, la courbure de la lentille centrale, ou r, était de 366^{mm}, et e de $15^{mm} + 7^{mm}$ (je suppose).

D'après la note de M. Biot, dans ce crown-glass t serait égal à 1,51, et par conséquent $t - 1$ à 0,51; dans cette hypothèse,

$$x = \frac{366^{mm}}{0{,}51} - \frac{22^{mm}}{1{,}51} = 718^{mm} - 15^{mm} = 703^{mm},$$

résultat qui diffère de 17 millimètres de celui que m'a donné une expérience directe sur le foyer des rayons solaires. Mais il est possible que la surface sphérique exécutée n'ait pas exactement la courbure indiquée par l'épure. Si l'exécution était parfaitement conforme à l'épure, il en faudrait conclure que la valeur de t était un peu moins de 1,50 dans la lentille centrale, qui n'est pas le morceau sur lequel a expérimenté M. Biot.

Mais, quoi qu'il en soit, et comme le pouvoir réfringent de la glace de Saint-Gobain peut bien n'être pas tout à fait le même dans les différents morceaux, il est plus prudent d'adopter un pouvoir réfringent un peu trop fort que trop faible, parce que, dans ce dernier cas, les lentilles embrasseraient un angle de plus de 45 degrés, et il faudrait les rogner pour que le centre du système des huit lentilles se trouvât au foyer de chacune. Nous adopterons donc dans les calculs le rapport de 1,51.

(*) Formule de Lacaille pour les lentilles biconvexes :

$$x = \frac{dpqrR + deq^2R - depqR + eq^2rR}{dp^2R - dpqR - pqrR - deq^2 - dpqr + 2depq - dep^2 + dp^2r - eq^2r + epqr}.$$

Dans cette formule d et x représentent deux distances focales correspondantes; R et r, les rayons de courbure des deux faces de la lentille; e est son épaisseur, et $\frac{p}{q}$ le rapport du sinus d'incidence au sinus de réfraction.

N° X (D).

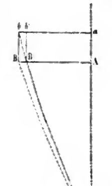
SUITE DES CALCULS RELATIFS À LA GRANDE LENTILLE DE $0^m,76$ DE CÔTÉ.

RANGÉE N° 1, OU LES QUATRE MORCEAUX DU CENTRE.

[Voir la note de la page 166.]

[Données] $AB = 140^{mm}$, $AF = 917^{mm},40$, $Bb = 8^{mm}$;

[d'où l'on déduit] 1er angle réfracté $[bB'b'] = 5^\circ\, 42'\, 10''$.



CALCUL DE L'ANGLE RÉFRINGENT POUR LE CERCLE CIRCONSCRIT.

$$\sin[Tba]\,\alpha = t\sqrt{\frac{1 - c^2}{1 + t^2 - 2tc}},$$

$$[c = \cos 5^\circ\, 42'\, 10'', \quad t = 1,51,]$$

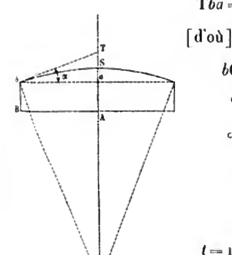
[d'où l'on déduit] $\alpha = 16^\circ\, 37'\, 20''$.

CALCUL DU RAYON DE COURBURE SATISFAISANT À CET ANGLE RÉFRINGENT.

$$Tba = bCa = 16^\circ\, 37'\, 20'', \qquad ba = 140^{mm},$$

[d'où]

$$bC = 489^{mm},41, \quad aC = 468^{mm},96,$$
$$aS = 20^{mm},45, \quad AS = 28^{mm},45.$$



CALCUL DU RAYON DE COURBURE D'APRÈS LA FORMULE

$$[\text{distance focale}]\ x = \frac{r}{t-1} - \frac{e}{t},$$

$$\text{ou } r = (t-1)\left(x + \frac{e}{t}\right).$$

$$t = 1,51, \quad x = 917^{mm},4, \quad e = 28^{mm},45;$$

[d'où]

$$r = 477^{mm},48.$$

Si l'on appelle i l'angle bCa et C la partie constante Aa de l'épaisseur,

N° X (D). on trouve, pour la valeur du rayon qui satisfait à la formule ci-dessus et fait passer l'arc de cercle par le point b,

$$r = \frac{(l-1)(lx+C)}{1+(l-1)\cos i}.$$

[Des valeurs ci-dessus on déduit]

$$i = 17^\circ\,3'\,0'';$$

[d'où l'on tire]

$$1+(l-1)\cos i = 1,4876.$$

[qui donne pour r cette seconde valeur approchée :]

$$r = 477^{mm},66 \text{ et } e = 28^{mm},98 \text{ (nouvelle épaisseur).}$$

[NOUVEAU] CALCUL DU RAYON DE COURBURE D'APRÈS LA FORMULE

$$r = (l-1)\left(x + \frac{e}{l}\right).$$

[Données]

$$[l = 1,51, \quad x = 917^{mm},4 \quad \text{et} \quad e = 28^{mm},98;]$$

[d'où]

$$r = 0,51 \times 936^{mm},59 = 477^{mm},66.$$

Ainsi c'est bien là le rayon qui satisfait aux rayons voisins du centre de la lentille et au passage du cercle par le point b.

[Résumé:]

Valeur de r pour la réunion au foyer des rayons partis du cercle circonscrit. . . . . $489^{mm},41$

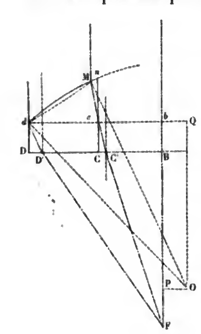
Valeur de r pour la réunion au foyer des rayons voisins du centre. . . . . $477^{mm},66$

Moyenne. . . . . $483^{mm},53$

Nous adoptons pour la valeur du rayon de courbure $483^{mm},5$.

N° X (D).

CALCUL DES RAYONS DE COURBURE [DES ZONES CONCENTRIQUES].



Si l'on représente par l la largeur dc de la rangée, c'est-à-dire la différence entre la longueur des rayons du cercle inscrit et du cercle circonscrit; par m le premier angle Mcn de réfraction dans le verre; par n le second angle cMO, pour le cercle inscrit; par r l'angle d'émergence pour le même cercle, et par r' l'angle d'émergence pour le cercle circonscrit, on trouve pour le rayon de courbure MO les deux valeurs suivantes :

$$MO = \frac{l \cos m}{2 \cos \left[n + \frac{1}{2}(r' - r) \right] \sin \frac{1}{2}(r' - r)},$$

ou

$$MO = \frac{l \cos m}{2 \cos \left\{ \frac{1}{2}(r' + r) - m \right\} \sin \frac{1}{2}(r' - r)}.$$

[APPLICATION À LA ZONE N° 6.]

CALCUL POUR LA SURFACE ANNULAIRE COMPRISE ENTRE LES RAYONS.

$$R' = 387^{mm},44 \quad \text{et} \quad R = 350^{mm},50.$$

Cercle inscrit de $350^{mm},5$ de rayon $\begin{cases} m = 13^\circ\,36'\,10'' \\ n = 23^\circ\,36'\,40'' \end{cases}$

$r = 37^\circ\,12'\,50''$

Cercle circonscrit de $387^{mm},44$ de rayon... $r' = 40^\circ\,\;7'\,40''$

N° X (D).

CALCUL DU RAYON DE COURBURE.

[D'après les données et la formule ci-dessus on trouve]
[le rayon de courbure] $MO = 779^{mm},48$.

CALCUL DES COORDONNÉES DU CENTRE DE COURBURE.

$$OQ = \overline{MO}\cos r' = 596^{mm} \ldots \quad OP = dQ - R' = \overline{MO}\sin r' - R' = 114^{mm},93.$$

[*Renvoi* de la page 163, l. 3]. — Ceci se rapporte aux premiers essais de fabrication des grands panneaux dioptriques échelonnés. Eu égard à la difficulté de se procurer des disques de crown-glass de 28 à 30 centimètres de diamètre, à peu près exempts de bulles et de stries, on débuta par composer la lentille centrale de quatre morceaux ou quadrants. (Voyez l'*Introduction*.)

XI.

RENOUVELLEMENT DE L'APPAREIL D'ÉCLAIRAGE DU PHARE DE CORDOUAN.

N° XI (A).

RAPPORT

ADRESSÉ

À M. BECQUEY, DIRECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES,

PAR A. FRESNEL, INGÉNIEUR ORDINAIRE,

SUR LE RENOUVELLEMENT DE L'APPAREIL D'ÉCLAIRAGE DU PHARE DE CORDOUAN [*].

[12 septembre 1823.]

Monsieur le Directeur général,

Chargé par vous d'opérer le changement du phare de Cordouan dans le courant du mois de juillet dernier, conformément à l'avis

---

[*] Le phare de Cordouan, l'un des plus beaux monuments qui aient été consacrés au salut des navigateurs, signale les roches sous-marines situées à deux lieues au large de l'embouchure de la Gironde. Fondé en 1545, par le célèbre architecte Louis de Foix, sur les ruines d'une ancienne tour, son histoire, sommairement esquissée dans notre *Introduction*, offre un intérêt particulier comme embrassant la série à peu près complète des divers moyens et systèmes successivement appliqués à l'illumination des phares. Nous rap-

N° XI (A). donné aux marins, je me suis rendu le 10 de ce mois à la tour de Cordouan, où toutes les pièces du nouvel appareil avaient été transportées. Aidé par M. Hans, chef d'atelier de M. Wagner, par le sieur Tabouret, employé du cadastre du pavé de Paris, par les gardiens du phare, et par les ouvriers qui m'ont été envoyés de Royan, je suis parvenu à lever les petites difficultés que présentait l'installation du nouvel appareil, et qui étaient augmentées par la situation isolée du phare, où je ne trouvais pas toutes les ressources dont j'aurais eu besoin.

Le 25 juillet, l'appareil lenticulaire était entièrement monté et présentait aux marins tous les effets décrits dans l'avis publié par *le Moniteur*.

Malgré les préparatifs que j'avais faits pour opérer le changement de feu dans le plus court intervalle de temps possible, je fus obligé d'établir un feu fixe provisoire pendant trois nuits consécutives. Ce feu, produit par deux lampes à bec quadruple, équivalait à quarante becs de quinquet.

---

pellerons seulement ici que la tour de Cordouan a été, de nos jours, à trente-deux années d'intervalle, le théâtre de deux innovations capitales dans l'éclairage maritime.

La première date de 1791. A cette époque, l'ingénieur Teulère, qui avait été chargé par le Ministère de la Marine de l'exhaussement du phare de Cordouan et de l'amélioration de son éclairage, après avoir élevé avec autant d'habileté que de hardiesse, sur la coupole de Louis de Foix, une tour conique de 30 mètres de hauteur, couronnée d'une lanterne monumentale, y installa, à 62 mètres au-dessus du rocher, un grand appareil catoptrique à *éclipses*, en remplacement des quatre-vingts réverbères à coquille et à mèche plate de l'ancien appareil de Sangrain. Le nouveau système projeté par Borda, et exécuté sous sa direction par l'habile opticien Lenoir, se composait de douze réflecteurs paraboliques de 30 pouces d'ouverture, illuminés par des becs à double courant d'air. Ils étaient également distribués sur les trois faces d'une armature tournante dont chaque révolution s'opérait en 6 minutes, d'où résultait dans tous les azimuts une succession régulière d'*éclats* apparaissant de deux en deux minutes et alternant avec des *éclipses* absolues.

C'est ce même appareil catoptrique, finalement reconnu insuffisant, qu'Augustin Fresnel remplaça, au mois de juillet 1823, par le grand appareil dioptrique tournant de son invention : mémorable inauguration du système des phares lenticulaires, sur laquelle on peut regretter que le présent Rapport ne fournisse pas de plus amples détails.

Avant de prendre ce parti, à peu près inévitable, je consultai, sur les dangers qu'il pouvait occasionner, M. le commissaire des classes et le maître de port de Royan, qui me rassurèrent à cet égard et avertirent les pilotes de l'établissement du feu provisoire. J'avais d'ailleurs choisi le moment de la pleine lune et un beau temps. Cette opération n'a occasionné aucun accident; mais je ne me croirais pas justifié par le succès, si je ne pensais d'ailleurs avoir pris toutes les précautions que la prudence conseillait. N° XI (A).

Ayant mis les gardiens au fait du nouveau service, et laissant près d'eux le sieur Tabouret, qui en connaît tous les détails, j'ai quitté la tour de Cordouan le 1er août, et j'ai débarqué à Royan, où je me suis embarqué, le soir même, sur une chaloupe de pilote, pour aller au large observer le nouveau feu. Je suis sorti par la passe du sud; mon intention était de faire le tour du phare et de rentrer par celle du nord; mais le défaut de vent nous a obligés de jeter l'ancre à 4 ou 5 lieues marines à l'ouest de Cordouan, et de rentrer le matin, avec la marée, par la passe du sud.

J'avais entrepris cette petite course sur mer, bien moins pour observer les effets du feu tournant, dont la grande portée m'était assez connue, que pour m'assurer si un appareil supplémentaire, que j'avais fait construire en dernier lieu, remplissait bien le but que je m'étais proposé, d'après le conseil de M. Beautemps-Beaupré et l'assentiment de M. de Rossel. Ce but était de donner aux navigateurs une lumière fixe, qui ne leur laissât plus perdre le phare de vue, pendant les éclipses du feu tournant, sitôt qu'ils se rapprocheraient des écueils dont la tour de Cordouan est environnée. Dans la direction que je parcourus cette nuit, à l'ouest de Cordouan, je ne perdis le feu fixe de vue qu'à la distance de 4 lieues marines; encore avait-il, à cette distance, l'avantage de prolonger l'apparition de la lumière, et de diminuer beaucoup la durée des éclipses absolues, aux yeux d'un observateur attentif. Il résulte aussi des observations des pilotes que, sauf quelques angles morts, plus mal éclairés que le reste, la portée de ce feu fixe, du côté de l'Océan, est généralement de 4 lieues marines, ce qui suffit bien

N° XI (A). pour l'objet qu'il devait remplir, puisque *la Cuivre*, l'écueil le plus éloigné du phare, n'en est guère qu'à 2 lieues.

En remontant la Gironde, de nuit, pour observer le phare de ce côté, j'ai remarqué que le feu fixe paraissait très-beau dans la rade du Verdon, à 2 lieues marines de Cordouan, et que ses effets se faisaient encore sentir près de la pointe de Castillon, à plus de 6 lieues marines de distance.

On peut estimer, je crois, l'intensité de ce feu fixe à quarante ou cinquante becs de quinquet; or il est produit, sans aucune augmentation dans la dépense d'huile de la lampe centrale qui éclaire tout l'appareil, et seulement en recueillant les rayons qui passent par-dessous les grandes lentilles, et qui, sans cela, seraient à peu près perdus. Le prix de cet appareil supplémentaire est de 2,800 francs, dont l'intérêt annuel, au denier vingt, n'est que de 140 francs. Il y a donc un avantage notable dans l'addition de cet appareil, puisque, pour une somme annuelle de 140 ou 150 francs, on obtient un excédant de lumière équivalent à quarante ou cinquante becs de quinquet [a].

Quant aux éclats du feu tournant, ils ont toute la splendeur qu'ils présentaient dans les expériences faites à Paris. Pour donner une idée de leur grande portée, il me suffira de dire qu'étant dans la Gironde, à 7 lieues marines de Cordouan, lorsque les dunes de la pointe de Grave me cachaient le feu, je voyais, au moment de l'éclat, une petite auréole au-dessus du point de l'horizon qui répondait au phare, auréole formée par la réverbération de la lumière dans l'air. D'après ce qui m'a été rapporté, le même phénomène aurait été observé au large par des pilotes, à une distance de 8 à 9 lieues marines, lorsque la rondeur de la terre leur ôtait la vue directe du phare.

A mon arrivée à Royan, avant l'établissement du nouvel appareil.

---

[a] Nous rappelons de nouveau que l'ingénieuse combinaison des *anneaux de verre catadioptriques*, imaginée par A. Fresnel dans les derniers temps de sa vie, a remplacé avec grand avantage les systèmes catoptriques et diacatoptriques primitivement employés par lui, tant pour obtenir un feu fixe accessoire que pour accroître la durée des éclats des lentilles tournantes.

nous avions comparé, M. Saint-Aubin[a] et moi, l'ancien feu de Cordouan avec un petit fanal sidéral du sieur Bordier-Marcet, placé près de la jetée du port : nous avions trouvé que ce fanal présentait une lumière égale au maximum d'éclat de l'ancien feu, quand nous les regardions l'un et l'autre de l'extrémité sud-est de la Conche de Royan. Il résulte de cette observation que le maximum d'éclat de l'ancien feu était égal à quarante fois la lumière du petit fanal, qui équivaut à quatre ou cinq becs de quinquet, d'après une expérience faite à l'Observatoire, avec M. Arago, sur un fanal semblable. Dans l'observation de Royan, à la vérité, la lumière du fanal sidéral se trouvait augmentée d'une autre lumière beaucoup plus faible, et qui en paraissait à peine le quart. Ainsi on doit porter à six becs de quinquet la lumière à laquelle nous avions comparé, M. Saint-Aubin et moi, l'ancien feu de Cordouan. Son maximum d'éclat équivalait donc à quarante fois six becs, ou deux cent quarante becs de quinquet; tandis que celui des grandes lentilles actuelles équivaut à plus de deux mille quatre cents becs semblables, au moment où l'axe de la lentille se trouve dirigé vers le spectateur. Ainsi, d'après ces mesures approximatives, le maximum des éclats du nouveau feu serait dix fois aussi brillant que celui des éclats de l'ancien, et par conséquent porterait trois fois plus loin. Ce résultat s'accorderait assez bien avec l'estimation des marins, qui ont trouvé que le nouveau feu, vu du port de Mortagne, dans la Gironde, paraissait aussi brillant que l'ancien, vu de Royan; car Mortagne est trois fois plus éloigné de Cordouan que Royan. N° XI (A).

Cette dernière comparaison ne peut inspirer beaucoup de confiance dans son exactitude, *puisqu'elle a été faite de souvenir;* mais en la supposant trop favorable au nouveau feu, ainsi que les mesures que nous venons de rapporter, on ne peut guère douter cependant qu'il ne soit au moins sept à huit fois plus brillant que l'ancien. Or la dépense d'huile se trouve maintenant réduite de moitié, et il en résulte une diminution de 5,700 francs sur la dépense annuelle de l'éclairage du

[a] Ingénieur de l'arrondissement de Bordeaux.

N° XI (A). phare, d'après la nouvelle soumission de l'entrepreneur, économie qui surpasse de beaucoup l'intérêt des fonds employés à l'établissement du nouvel appareil. Ainsi le gouvernement retirera un bénéfice notable de cette opération, quand même on ne la considérerait que sous le rapport financier, en faisant abstraction de la grande augmentation de lumière obtenue et des avantages importants qu'elle procure à la navigation.

Je suis, etc.

L'ingénieur ordinaire,

A. FRESNEL.

Paris, le 12 septembre 1823.

N° XI (B).

OBSERVATIONS DES PILOTES

SUR LE NOUVEAU FEU DE LA TOUR DE CORDOUAN.

EXTRAIT DU REGISTRE DES PROCÈS-VERBAUX TENUS AU BUREAU DES CLASSES À ROYAN [a].

Aujourd'hui vingt-sept août mil huit cent vingt-trois, se sont réunis au bureau de la marine à Royan, sur l'invitation du Commissaire des classes du quartier:

MM. Walter, lieutenant de vaisseau, chevalier de l'ordre royal et militaire de Saint-Louis, commandant la gabare du roi *la Cauchoise*, stationnée en rade du Verdon;

Boisseau, capitaine au long cours. . . . . Pilloton, *id*. . . . . Anquetil, *id*. et maître de port. . . . . Chaumont, capitaine au long cours. . . . . . Boullet, *id*.	demeurant à Royan.
Taudin (Jean) père, pilote lamaneur. . . . . . Bon (François), *id*. . . . . Nicolle (François), *id*. . . . . Moreau (Jean), *id*. . . . . Raynaud (Jean), *id*.	de la station de Royan.
Bossy (Jean), *id*. . . . . Lardy (Simon-Pierre), *id*. . . . . Vige (Simon), *id*. Bernard (Pierre), *id*. . . . . Coutan (Pierre), *id*. . . . . Blanchet (Antoine), *id*. . . . . Raymond (Jean), *id*. . . . . Tétaud (Jean), *id*. Mariteau (Jean), *id*	de la station de Saint-Georges.

[a] Document annexé au Rapport précédent.

N° XI (B). Cette réunion ayant pour objet de constater les effets du feu nouvellement installé dans la tour de Cordouan, chacun des assistants s'est empressé de communiquer les observations qu'il a été à portée de faire à ce sujet.

M. le lieutenant de vaisseau Walter a dit que le nouveau système d'éclairage est, sous tous les rapports, infiniment supérieur à l'ancien, tant par l'intensité que par la vivacité de la lumière qu'il produit; que, jusqu'à présent, il n'a pu le voir que de la rade du Verdon, mouillage ordinaire de la gabare du roi *la Cauchoise*, parce que, malgré ses fréquents appareillages, ce bâtiment ne s'est pas trouvé dans le cas, depuis la nouvelle installation, de naviguer de nuit en dehors de la Gironde; que le feu fixe se voit parfaitement du Verdon, c'est-à-dire à 2 lieues de Cordouan; et qu'en général le feu tournant présente, à cette distance, tous les caractères indiqués par l'avis publié dans les *Annales maritimes* du mois de mai 1823. Telle est aussi la remarque qu'a faite lui-même le Commissaire des classes soussigné.

MM. les capitaines au long cours ont ensuite communiqué leurs propres observations, en avertissant que leurs remarques ont été faites à terre et du seul point de Royan. Tous se sont accordés à reconnaître la supériorité de la nouvelle installation. Ils ont remarqué que, lorsque le feu commence à paraître, il se montre moins brillant que ne l'était l'ancien; mais qu'augmentant ensuite progressivement, il fournit, pendant les cinq dernières secondes de l'éclat, une lumière d'un brillant extraordinaire et d'une grande blancheur, qui alors présente à l'œil quatre rayons plus vifs que le reste du feu, lesquels apparaissent sous la forme d'une croix de Malte. Du reste ils pensent que l'éclairage actuel fournit à la fin de chaque éclat une masse double de feu de celle que donnait l'ancien système. Ils pensent aussi que, dans le moment de sa plus grande splendeur, ce feu peut être aperçu à une distance de 10 à 11 lieues, si l'observateur est placé au haut des mâts d'un gros navire.

Les pilotes, qui avaient reçu l'ordre d'observer avec attention le phare de Cordouan pendant leur navigation, déclarent avoir vu le nouveau feu beaucoup plus brillant que l'ancien, les uns à 7 lieues dans l'ouest-nord-ouest, d'autres à 6 lieues et demie dans le nord-ouest et quelques-uns à 6 lieues dans l'ouest. Quant au feu fixe, il en est qui l'ont aperçu faiblement à la distance de 4 lieues, tantôt dans le nord-ouest et dans l'ouest, tantôt à 3 lieues en courant du nord au sud; mais qu'alors ils le perdaient souvent de vue par l'effet que produisaient les barres de la lanterne, qui coupent le feu fixe dans la position indiquée. Tous

d'ailleurs sont unanimes sur ce point que le feu tournant est infiniment plus volumineux et plus clair que celui auquel il a été substitué; que l'ancien se voyait, mais faiblement, à 6 lieues en mer; tandis que le feu actuel, par l'effet de ses brillants éclats, donne, à la même distance, une masse de lumière qui est du double plus considérable, comme il a été dit à l'article de MM. les capitaines au long cours[*]. Toutefois il faut ajouter ici que les observations des pilotes ont seulement été faites sur le pont de leurs chaloupes, et l'on sait que ces embarcations n'ont, en général, que deux pieds d'élévation sur l'eau. N° XI (B).

Quant aux effets du feu vu de l'intérieur du fleuve, les pilotes qui ont été à même de l'observer assurent qu'il est très-visible par le travers de la Maréchale, le long du banc, à 8 lieues; et que l'ancien éclairage ne présentait point, à beaucoup près, le même volume de lumière, vu du même point, au delà duquel il est impossible de distinguer Cordouan, à cause de la disposition des terres, qui masquent la vue dans la partie supérieure de la Gironde.

En résumé, les capitaines au long cours et les pilotes souhaiteraient que chaque éclipse n'eût que 20 secondes de durée, et que les éclats, qui disparaissent trop rapidement à 6 lieues, pussent, s'il était possible, être visibles pendant un temps plus long que leur actuelle apparition.

Après avoir recueilli et constaté les dires et observations ci-dessus rapportés, nous avons clos le présent procès-verbal, qui a été signé avec nous par M. le lieutenant de vaisseau Walter, MM. les capitaines au long cours et les pilotes lamaneurs dénommés plus haut, sauf les pilotes Moreau, Coutan et Blanchet, qui ont déclaré ne le savoir faire.

Signé : Walter, Boisseau, Pilloton, Anquetil, Chaumont, Boullet, Taudin, Bon, Raymond, Tétaud, Mariteau et M. C. Ribard.

Pour copie conforme :

Le Commissaire des classes,

Signé : M. C. Ribard.

Pour copie :

L'Intendant de la marine P. I.

Signé : Lecomte.

---

[*] Voir la note de Fresnel à la suite de ce procès-verbal.

NOTE INSCRITE PAR A. FRESNEL À LA SUITE DU PROCÈS-VERBAL CI-DESSUS.

En disant que le nouveau feu a un *volume double de l'ancien*, les marins qui ont concouru à la rédaction de ce procès-verbal n'expliquent pas s'ils entendent par là que la lumière du nouveau feu est seulement double de celle de l'ancien; mais, si tel est le jugement qu'ils en portent, je crois être sûr qu'ils se trompent de beaucoup, et que le nouveau feu est au moins sept à huit fois aussi brillant que l'ancien, d'après les mesures beaucoup plus précises citées à la fin du rapport ci-joint. Il est impossible d'estimer au simple coup d'œil, avec quelque exactitude, si une lumière est deux fois, trois fois ou quatre fois plus brillante qu'une autre, lorsque ces deux lumières sont en présence; à plus forte raison quand on fait cette comparaison de souvenir. Il est beaucoup plus sûr en général de juger de leur égalité; et c'est toujours à ce genre de comparaison qu'il faut ramener l'autre en faisant varier les distances. Ainsi j'aurais plus de confiance dans l'estimation des marins qui ont trouvé que le nouveau feu, vu de Mortagne, était aussi brillant que l'ancien, vu de Royan; d'où il résulterait que le nouveau feu est presque neuf fois aussi brillant que l'ancien, puisque la distance de Cordouan à Mortagne est presque triple de celle de Royan à Cordouan.

Paris, le 12 septembre 1823.

A. FRESNEL.

N° XI (C).

NOTE D'AUGUSTIN FRESNEL

SUR LA VISITE DU PHARE DE CORDOUAN

FAITE, LE 12 SEPTEMBRE 1824,

PAR M. ROBERT STEVENSON[1].

M. Robert Stevenson, ingénieur des phares d'Écosse, vient de faire une tournée sur nos côtes de la Manche et de l'Océan, pour visiter nos principaux établissements maritimes, et particulièrement les phares, objet spécial de ses travaux et de ses recherches. Le nouvel appareil dioptrique établi sur la tour de Cordouan a été pour M. Stevenson l'objet d'un examen très-étendu. Après avoir admiré la vivacité des feux réfractés par les huit grandes lentilles à échelons, dont se compose le système entièrement neuf du nouveau phare, il a relevé soigneusement les dimensions de ses diverses parties. M. le directeur général des ponts et chaussées avait ordonné que l'on procurât à ce savant étranger toutes les facilités et tous les renseignements qu'il pourrait désirer. Déjà, pendant son séjour à Paris, il avait reçu les explications les plus détaillées, non-seulement sur le nouveau phare de Cordouan, mais encore sur les autres combinaisons dioptriques que l'Administration se propose d'appliquer successivement à l'éclairage des divers points des côtes de France.

Pour témoigner sa reconnaissance des communications obligeantes et de l'accueil distingué qu'il avait reçus, M. Stevenson a fait don, à la

[1] Cette Note aura sans doute été rédigée, à la demande de M. Becquey, pour être insérée au *Moniteur*. Nous la reproduisons d'après un brouillon qui n'est peut-être qu'un fragment.

N° XI (C). tour de Cordouan, d'un exemplaire de son magnifique ouvrage sur la tour de Bell-Rock, monument dont la construction hardie place son auteur au premier rang des ingénieurs dont s'honore l'Angleterre.

Nous nous plaisons à citer ce nouvel exemple des échanges de bons procédés qui, depuis quelques années, ont lieu journellement entre les savants de deux nations si longtemps rivales. Toutefois, après avoir rendu un juste hommage aux talents de M. Stevenson, nous croyons ne pouvoir nous dispenser de relever une erreur qui lui est échappée, et qui ne tend à rien moins qu'à frustrer la France, au profit de l'Angleterre, de l'honneur d'une invention qui nous appartient incontestablement. M. Stevenson (page 527 de son ouvrage) attribue au docteur Brewster l'*invention des phares dioptriques*, et cite même le nouvel appareil de Cordouan comme une application des idées de son compatriote [a].

Il nous serait aisé de démontrer combien cette assertion est erronée et combien il y avait loin de la simple idée des *lentilles à échelons* à l'invention des procédés par lesquels on a surmonté récemment en France les difficultés de leur exécution. D'ailleurs l'invention des lentilles à échelons n'appartient pas au docteur Brewster, mais à Buffon, qui, plus d'un demi-siècle auparavant, avait proposé ce perfectionnement des *verres ardents*. Le docteur Brewster n'a point indiqué l'application de ces grandes lentilles à l'éclairage des phares, et surtout la combinaison heureuse par laquelle on est parvenu chez nous à tirer le plus grand parti possible de la lumière qui éclaire l'appareil dioptrique [b]. Le voyage

---

[a] Dans la description des planches de son ouvrage, Robert Stevenson, après quelques indications sur les effets *almost inconceivable* de l'appareil à réverbères paraboliques du phare de Bell-Rock, ajoute : «Similar effects are also expected to be produced with light refracted «through glass-lenses. These, it is believed, are about to be made trial of in the Tour «de Corduan, at the entrance of the Garonne, with what are termed polygonal lenses, «being one large lense, built or composed of a number of small lenses, as suggested by «Dr Brewster, in the *Edinburgh Encyclopædia*, in the year 1811, under the article: Burning «Glass.» (*An account of the Bell-Rock light-house*, Edinburgh, 1824, p. 527.)

[b] Faute d'avoir eu connaissance de l'article *Burning Instruments* de l'*Encyclopédie d'Édimbourg*, A. Fresnel n'a traité que d'une manière incomplète et, à quelques égards,

de M. Stevenson et les renseignements qu'il est venu recueillir à Paris, N° XI (C).
et jusque dans la tour de Cordouan, prouvent assez que ce nouveau système d'éclairage n'a pas été inventé à Édimbourg; et nous pensons que ce célèbre ingénieur aura reconnu en France le peu de fondement de l'assertion qu'une prévention patriotique lui avait fait hasarder en Angleterre. . . . .

---

inexacte, cette question de priorité. Il pouvait la reprendre avec plus d'avantage et la trancher d'une manière décisive à la fin de 1825, lorsque, par l'ingénieuse invention des *appareils catadioptriques à réflexion totale*, il eut en partie transformé son système de phares lenticulaires, en le portant au plus haut degré de perfection théorique et pratique; mais déjà presque épuisé par la maladie de langueur à laquelle il allait bientôt succomber, il dut renoncer à toute polémique. Nous croyons au surplus avoir donné dans notre *Introduction* un résumé assez précis de ce procès scientifique, pour mettre le lecteur à même de se prononcer en pleine connaissance de cause.

N° XII (A).

XII.

DESCRIPTION ET ESSAI

D'UN

APPAREIL TOURNANT A SEIZE DEMI-LENTILLES.

N° XII (A).

APPAREIL DIOPTRIQUE DIT LENTICULAIRE,

IMAGINÉ PAR M. AUGUSTIN FRESNEL,

INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES,

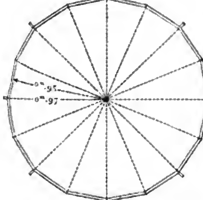
POUR SERVIR À L'ÉCLAIRAGE DES PHARES (*).

[Octobre 1823.]

Cet appareil, commandé par M. Becquey, directeur général des

(*) La lettre ci-après, du 2 octobre 1823, annexée au programme N° XII (B), fait connaître

Plan de l'appareil composé de seize demi-lentilles.



Paris, le 30 janvier 1823. A. Fresnel.

à quelle occasion et dans quel but la présente Note a été rédigée par A. Fresnel. Nous n'avons pas trouvé d'ailleurs dans ses papiers d'épure complète de l'appareil à seize demi-lentilles. Il eût été facile d'y suppléer, mais une figure additionnelle nous a paru assez inutile, attendu qu'elle eût formé double emploi, à beaucoup d'égards, avec les planches IV et VII, et eût reproduit, pour la partie accessoire, une combinaison finalement abandonnée par l'inventeur. Nous nous bornons en conséquence à reproduire ici le plan de l'appareil à seize demi-lentilles, d'après une minute signée d'A. Fresnel et datée.

Il est à remarquer que les panneaux lenticulaires se trouvent ici placés à 95 centimètres de distance du foyer, au lieu de 92, excentricité d'où résulterait un léger sacrifice d'effet utile, accepté peut-être pour donner aux éclats plus d'amplitude.



N° XII (A). ponts et chaussées et des mines, a été construit, sur les dessins et d'après les procédés de M. Augustin Fresnel, par MM. Soleil, opticien, et Wagner, mécanicien horloger.

Le phare auquel il s'applique est illuminé par un seul bec de lampe placé au centre, équivalant à seize ou dix-sept lampes de Carcel. Ce bec, de l'invention de MM. Arago et Fresnel, a 9 centimètres de diamètre et porte quatre mèches concentriques, qui sont continuellement abreuvées d'huile au moyen d'une pompe où quatre valvules de cuir très-flexible remplacent les pistons des lampes de Carcel. Une horloge, dont le moteur est un poids et le régulateur un volant, donne à ces valvules le mouvement de va-et-vient nécessaire pour aspirer l'huile et la porter jusqu'aux bords du bec, d'où elle retombe dans le réservoir. Les détails de ce mécanisme ont été conçus et exécutés par M. Wagner, ainsi que la machine de rotation qui fait tourner l'appareil lenticulaire autour de la lumière centrale.

M. Soleil a construit la partie optique de l'appareil, qui se compose : 1° de seize grands verres lenticulaires de forme rectangulaire, disposés verticalement autour de la lumière centrale, et qui servent à concentrer ses rayons en seize cônes lumineux de 6 à 7 degrés d'ouverture chacun; 2° de huit lentilles additionnelles, de figure trapézoïdale, formant une sorte de toit en pyramide octogonale tronquée, au-dessus du bec quadruple, dont elles recueillent et concentrent les rayons supérieurs, qui sont ensuite ramenés vers l'horizon par les miroirs étamés placés au-dessus des lentilles.

L'appareil, en tournant autour de la lumière centrale, présente une succession régulière d'éclipses et d'éclats alternativement longs et courts. Chaque *éclat long* est composé du cône lumineux sortant d'une des petites lentilles additionnelles, suivi immédiatement du cône lumineux produit par une des seize grandes lentilles placée au-dessous, mais de manière que le plan vertical passant par son centre, ou son axe, fait un angle de 7 degrés avec le plan vertical passant par l'axe de la lentille additionnelle correspondante. Chaque *éclat court* est produit seulement par une des grandes lentilles verticales, dont le nombre est

double de celui des lentilles additionnelles, et qui ne peuvent ainsi leur être accouplées que de deux en deux. Ces alternatives d'éclats longs et d'éclats courts donnent à ce phare un caractère tout particulier, qui le fera aisément distinguer des autres phares à feux tournants. L'intensité de la lumière à l'instant le plus brillant de chaque éclat, c'est-à-dire quand l'axe d'une des lentilles verticales passe par l'œil du spectateur, équivaut à 1,600 becs de quinquet ou 1,200 lampes de Carcel. N° XII (A).

N° XII (B).

PROJET DE PROGRAMME

POUR L'EXPÉRIENCE DU JEUDI 9 OCTOBRE 1823.

Cette expérience a pour objet de comparer les phares à feux tournants composés de huit lentilles verticales avec ceux qui en présentent seize dans une révolution.

Pour cela on suivra la méthode indiquée par M. de Rossel, et l'on se servira d'un appareil portant seize demi-lentilles verticales. Tantôt on en couvrira huit avec des cartons, et tantôt on les découvrira. Les huit demi-lentilles que l'on couvrira et découvrira alternativement sont celles dont les éclats précèdent ceux des petites lentilles additionnelles, et ne se relient pas avec eux; en sorte que, lorsqu'on couvrira celles-là, ce seront les éclats courts que l'on supprimera, en laissant les éclats longs.

L'expérience commencera à 7 heures $\frac{1}{2}$ du soir, et se terminera à 9 heures $\frac{1}{2}$. On se propose de faire, pendant cet intervalle de temps, cinq changements, dont les observateurs noteront les époques à mesure qu'ils s'en apercevront.

L'appareil à feu fixe[a] se trouvant établi dans la lanterne par le zèle de M. Soleil fils, à qui je ne l'avais pas demandé, on pourra voir son effet de Montmélian, quoique les trois miroirs inférieurs se trouvent masqués, si du moins l'atmosphère a assez de transparence. Comme cet appareil fera sans doute partie de la plupart de nos phares

[a] Système polygonal de petits miroirs plans étagés verticalement, pour utiliser les rayons lumineux passant au-dessous du tambour lenticulaire tournant. [Voyez la note à la suite du *post-scriptum* du N° VIII (A), p. 126.]

à feux tournants, il n'est pas déplacé dans l'expérience dont il s'agit, et à laquelle il ne peut nuire en aucune façon. N° XII (B).

Pour faire mieux juger de ce qu'il ajoute à l'effet du feu tournant, on masquera le feu fixe depuis 9 heures $\frac{1}{4}$ jusqu'à 9 heures $\frac{1}{2}$, puis on le découvrira, et on laissera le phare allumé jusqu'à 10 heures[a].

---

[a] Nous reproduisons, comme complément à ce programme, la lettre suivante relative au même essai.

LETTRE D'AUGUSTIN FRESNEL À M. SGANZIN.

Paris, le 2 octobre 1823.

Monsieur et cher général,

M. Wagner vient de me prévenir qu'on allumerait demain soir (pour la première expérience d'essai) l'appareil lenticulaire qui vient d'être transporté sur l'arc de triomphe de l'Étoile. J'ai cru pouvoir l'autoriser, sur sa demande et celle de M. Soleil, à annoncer au public, par un écriteau placé sur la colonne de fonte exposée au Louvre, que ce phare serait allumé encore samedi et dimanche.

Comme le départ de M. le contre-amiral Halgan est très-prochain, il serait urgent de prendre jour avec lui pour l'expérience demandée par la Commission. M. de Rossel m'a dit que tous les jours lui seraient égaux. Je suppose cependant qu'il faut excepter le lundi et le mercredi. Ainsi l'expérience pourrait se faire mardi prochain ou jeudi, si M. Halgan peut attendre jusque-là. Je charge M. Boulard, mon conducteur, qui aura l'honneur de vous remettre cette lettre, de prendre vos ordres pour l'expérience.

Je suis, etc.

A. FRESNEL.



N° XII (C).

EXPÉRIENCE FAITE A MONTMÉLIAN,

À 17,400 TOISES DE L'ARC DE TRIOMPHE DE L'ÉTOILE,

PAR MM. HALGAN, DE ROSSEL, SGANZIN ET MATHIEU,

Le 9 octobre 1823.

Cette expérience a eu pour objet de comparer les phares à feux tournants composés de huit lentilles verticales avec ceux qui en présentent seize dans une révolution.

On a placé sur l'arc de triomphe de l'Étoile un appareil de rotation portant seize demi-lentilles verticales. On couvre avec des cartons et l'on découvre alternativement huit de ces demi-lentilles distribuées sur tout le contour du phare. Comme il s'agit de savoir si l'on peut distinguer facilement par la durée des éclipses les phares à seize lentilles de ceux qui n'en renferment que huit, les observateurs n'ont pas été prévenus de l'ordre des changements dans les feux. Voici ce qu'ils ont vu :

N° XII (C).

PHASES.	HEURES.	DURÉE.		PHASES.	HEURES.	DURÉE.		PHASES.	HEURES.	DURÉE.	
		Éclat.	Éclipse.			Éclat.	Éclipse.			Éclat.	Éclipse.
	h m s	s	s		h m s	s	s		h m s	s	s
							22				12
Apparition.	7 43 35	17		Apparition.	7 57 40	9		Apparition.	8 5 12	21	
Disparition.	52		36	Disparition.	49		12	Disparition.	33		25
Apparition.	44 28	20		Apparition.	58 1	18		Apparition.	5 58	9	
Disparition.	48		40	Disparition.	19		25	Disparition.	6 7		15
Apparition.	45 28	18		Apparition.	58 44	7		Apparition.	6 22	20	
Disparition.	46		37	Disparition.	51		12	Disparition.	42		28
Apparition.	46 23	19		Apparition.	59 3	18		Apparition.	7 10	7	
Disparition.	42		38	Disparition.	21		21	Disparition.	17		14
Apparition.	47 20	18		Apparition.	59 42	7		Apparition.	7 31	20	
Disparition.	38		38	Disparition	49		11	Disparition.	51		26
Apparition.	48 16	19		Apparition.	8 0 0	21		Apparition.	8 17	8	
Disparition.	35		36	Disparition	21		22	Disparition.	25		15
Apparition.	49 11	21		Apparition.	0 43	8		Apparition.	8 40	20	
Disparition.	32		38	Disparition.	51		12	Disparition.	9 0		23
Apparition.	50 10	20		Apparition.	1 3	18		Apparition.	9 23	8	
Disparition.	30		41	Disparition.	21		24	Disparition.	31		16
Apparition.	51 11	19		Apparition.	1 45	8		Apparition.	9 47	16	
Disparition.	30		37	Disparition.	53		13	Disparition.	10 3		26
Apparition.	52 7	17		Apparition.	2 6	19		Apparition.	10 29	7	
Disparition.	24		40	Disparition.	25		22	Disparition	36		16
Apparition.	53 4	17		Apparition.	2 47	8		Apparition.	10 52	16	
Disparition.	21		41	Disparition.	55		13	Disparition.	11 8		24
Apparition.	54 2	17		Apparition.	3 8	16		Apparition.	11 32	7	
Disparition.	19		38	Disparition.	24		24	Disparition.	39		16
Apparition.	54 57	18		Apparition.	3 58	9		Apparition.	11 55	19	
Disparition.	55 15		42	Disparition.	57		10	Disparition.	12 14		27
Apparition.	55 57	19		Apparition.	4 7	19		Apparition.	12 41	7	
Disparition.	56 16		44	Disparition	26		26	Disparition.	48		17
Apparition.	57 0	18		Apparition.	4 52	8		Apparition.	13 5	17	
Disparition.	18			Disparition.	5 0			Disparition.	22		
		277	546			193	269			202	300
						395 | 569					

N° XII (C). Quoique le temps fût très-couvert et qu'il plût par moments pendant que l'on faisait les observations précédentes, on a bien vu, et la lumière était encore assez blanche. L'expérience devait continuer jusqu'à 9 heures, mais la pluie ayant redoublé entre Paris et la station, la lumière est devenue insensiblement très-faible. Les éclats ne sont plus que de 3 à 4 secondes, puis de 1 à 2 secondes, et enfin la lumière disparaît tout à fait vers 8 heures 45 minutes. Elle se montre quelques instants après, mais les éclats sont toujours fort courts.

Pendant les deux premiers tours du phare, il n'y avait que huit lentilles : la durée des éclats est à celle des éclipses comme les nombres 277 et 546, ou à peu près comme 1 et 2.

Pendant les deux tours suivants il y avait seize lentilles : la durée des éclats est à celle des éclipses comme 395 est à 569, ou à peu près comme 11 est à 15.

L. MATHIEU. DE ROSSEL.

XIII.

ÉTUDES ET EXPÉRIENCES

RELATIVES

AUX MACHINES DE ROTATION

À VOLANT-PENDULE,

APPLICABLES AUX PHARES À ÉCLIPSES.

XIII (A).

EXTRAIT [a]

D'UN RAPPORT SUR LE SYSTÈME D'ÉCLAIRAGE

À ADOPTER POUR LE PHARE DU FOUR.

[14 janvier 1821.]

. . . .

La Commission pense.... qu'un feu tournant est préférable à un feu fixe.

---

[a] Les extraits et fragments que nous avons réunis sous le N° XIII ont pour objet une amélioration très-importante au point de vue pratique, introduite par A. Fresnel dans le mécanisme de rotation des phares à éclipses, par la substitution de machines à *mouvement continu* aux horloges à *pendule avec échappement*.

Le présent extrait d'un rapport sur le *phare catoptrique à éclipses*, qu'il s'agissait (au commencement de 1821) d'établir à l'embouchure de la Loire, fait ressortir les graves inconvénients attachés, pour un appareil tournant, aux temps d'arrêt et aux chocs d'une machine réglée dans son mouvement par un pendule oscillant. Or les perturbations fréquemment

N° XIII (A). Le système qu'elle propose nécessitera, à la vérité, une augmentation de dépense de 3,000 francs environ, à cause de la *machine de rotation*. Mais cette somme ne peut pas entrer en balance avec les avantages d'un feu tournant.

On peut craindre que la machine ne se dérange, ou que son entretien ne soit embarrassant et dispendieux. Ce serait, à notre avis, l'inconvénient qui pourrait le plus faire hésiter en général à adopter le système des feux tournants. Mais nous répondrons que les machines de rotation imaginées par M. Wagner règlent le mouvement des phares les plus pesants sans que leur masse fatigue l'échappement de l'horloge, et que d'ailleurs, dans le cas dont il s'agit, la masse à faire tourner ne pèsera pas plus de 400 livres.

Nous conviendrons néanmoins que la complication de cette machine peut rendre sa réparation sur les lieux embarrassante, dans le cas où elle aurait été dérangée par accident, et que d'une autre part son prix élevé ne permet guère d'en avoir une de rechange. Aussi serait-il à désirer qu'on pût apporter quelque simplification dans sa construction.

Nous pensons qu'une *machine sans échappement*, et réglée seulement par un *volant* pourrait remplacer les *horloges* dont on s'est servi jusqu'à présent; parce qu'il ne nous paraît pas nécessaire que la durée des éclats et des éclipses soit réglée avec une grande exactitude, à moins

---

signalées dans la rotation d'appareils à réverbères, d'un poids total de 150 à 200 kilogrammes, allaient singulièrement s'aggraver lorsqu'il s'agirait d'appareils lenticulaires de premier ordre pesant trois ou quatre fois autant.

Les grands tournebroches de M. Wagner répondaient jusqu'à un certain point au programme, mais il s'agissait de perfectionner leur volant régulateur pour compenser, à l'aide de cet organe, les variations de résistance de manière à obtenir, à quelques secondes près, l'égalité de durée des révolutions. Fresnel combina à cet effet le pendule conique avec des ailes fixes et des ailes mobiles. Après divers essais (que retarda sans doute la pénurie du budget des phares, et dont les premiers résultats décisifs ne datent que du mois de juin 1824), le problème se trouva résolu d'une manière pleinement satisfaisante, ainsi que le constatent les tableaux ci-après des expériences faites au mois de février 1825.

L'essai de la première machine à volant-pendule (exécutée par M. Lepaute) eut lieu en présence de la Commission des phares, le 25 mars 1825; mais l'inventeur du nouveau régulateur ne vécut pas assez pour en faire lui-même l'application définitive.

d'un dixième près, par exemple, puisqu'on a soin d'établir des différences de durée beaucoup plus prononcées entre les feux tournants qu'on veut distinguer de cette manière. N° XIII (A).

Les machines à échappement ont l'inconvénient d'arrêter à chaque instant la rotation d'une masse considérable. Cette destruction continuelle de forces vives doit être en général une cause de dégradation, surtout dans les horloges où l'échappement reçoit directement le choc de la masse en mouvement, inconvénient que M. Wagner a su éviter.

Une machine à volant, ayant un mouvement continu, ne renferme plus les mêmes causes de dégradation. La masse continue à tourner avec la vitesse qu'elle a acquise, et c'est la seule résistance de l'air sur les ailes du volant qui empêche l'accélération.

En calculant les variations de densité que l'air de la lanterne pourrait éprouver dans les circonstances les plus défavorables par le concours des variations thermométriques et barométriques, nous avons trouvé qu'elles ne pouvaient guère dépasser un huitième, qui produirait sur le mouvement des volants une différence d'un seizième seulement, en supposant que leur vitesse dût être en raison inverse de la racine carrée de la densité de l'air.

A la vérité, il y aurait dans la machine d'autres frottements que ceux que l'air lui présenterait, qui pourraient éprouver de bien plus grandes variations, par la coagulation de l'huile, qui enduit les surfaces en contact, ou par l'altération du poli de ces mêmes surfaces. On peut remédier jusqu'à un certain point au premier inconvénient en employant l'huile de pied de bœuf. Malgré cette précaution, on pourrait craindre encore des variations considérables dans ces frottements. Mais il est un moyen d'empêcher que ces variations n'aient une influence trop sensible sur la durée des révolutions : c'est d'augmenter le poids qui ferait tourner la machine, et en même temps l'étendue des volants qui doivent empêcher son accélération. On pourrait rendre de cette manière le frottement de l'air très-supérieur au frottement des rouages; en sorte que celui-ci n'aurait plus qu'une faible influence sur la durée des révolutions.

N° XIII (A). On pourrait même diminuer l'effet résultant des changements de la densité de l'air au moyen de la force centrifuge, qui éloignerait les volants du centre lorsque leur mouvement deviendrait trop rapide, ou leur permettrait de s'en rapprocher quand il serait trop lent, et compenserait ainsi, jusqu'à un certain point, la diminution ou l'augmentation de la résistance de l'air.

Mais pour le phare dont il s'agit, où des variations d'un dixième dans la durée des éclipses et des éclats nous paraissent sans inconvénient, nous ne proposerions pas d'ajouter à la machine cet appareil de compensation, qui la compliquerait un peu. Construite dans toute sa simplicité, elle remplirait suffisamment l'objet d'un feu tournant et ne pourrait occasionner aucune méprise.

Nous n'osons pas cependant engager la Commission à substituer cette machine à celle de M. Wagner, avant que l'expérience ait démontré que son mouvement peut conserver une régularité convenable. Comme l'adoption de cette machine, qui n'est qu'un simple *tournebroche*, pourrait avoir de grands avantages, non-seulement à cause de son bas prix, qui permettrait d'en avoir deux pour chaque phare, mais encore par la facilité de la faire raccommoder sur les lieux, nous exprimons le désir qu'il soit fait des expériences à ce sujet pour reconnaître si l'on peut se passer d'un échappement et si des volants seraient en effet un moyen de régularisation suffisant. M. Wagner, à qui nous en avons parlé, nous a offert d'en faire l'essai sur de grands tournebroches, tels que ceux qu'il construit souvent. Si la Commission l'approuvait, et que M. le directeur général voulût bien accorder les fonds nécessaires, qui seraient peu de chose, on pourrait s'occuper sur-le-champ de ces expériences et décider la question avant l'époque où le phare de la tour du Four doit être allumé..................

....

Paris, ce 14 janvier 1821.

A. FRESNEL.

XIII (B).

CALCUL

SUR LE PENDULE RÉGLÉ PAR LA FORCE CENTRIFUGE [1].

[..... Avril 1822.]

La pesanteur g dirigée verticalement suivant MP donne, pour composante suivant MD, $g \sin i$.



La force centrifuge f dirigée suivant AM donne, pour composante suivant MD, $f \cos i$.

Mais

$$f = \frac{v^2}{r}; \qquad v = \frac{2\pi r}{T},$$

en appelant T le temps employé à parcourir la circonférence; donc

$$f = \frac{4\pi^2 r^2}{T^2 r} = \frac{4\pi^2 r}{T^2}.$$



Mais r ou $MA = a \sin i$; donc

$$f = \frac{4\pi^2 a \sin i}{T^2},$$

dont la composante suivant MD est

$$\frac{4\pi^2 a \sin i \cos i}{T^2}.$$

Pour l'équilibre, il faut qu'on ait

$$mg \text{ ou } g \sin i = \frac{4\pi^2 a \sin i \cos i}{T^2}, \quad \text{ou } g = \frac{4\pi^2 a \cos i}{T^2};$$

d'où

$$a = \frac{gT^2}{4\pi^2 \cos i}.$$

[1] Nous reproduisons ce calcul du *pendule conique*, eu égard surtout au double croquis qui l'accompagne, et qui offre la première ébauche du *volant-pendule*, nouveau régulateur

N° XIII (B). Lorsque l'angle i est très-petit, cos $i = 1$, et la formule devient

$$a = \frac{gT^2}{4\pi^2}.$$

Les révolutions sont alors isochrones pour différentes valeurs de i, pourvu que celles-ci soient toujours très-petites.

$$g = 9^m,80; \ldots\ldots \text{ supposons } T = 1^s:$$

$$a = \frac{9^m,8 \times 1}{4\pi^2} = \frac{2^m,45}{\pi^2} = 0^m,2482.$$

Si le temps de la révolution est réduit à une demi-seconde, la longueur de a devient quatre fois plus petite, et l'on a : $a = 0^m,062$;

pour deux tiers de seconde... $a = \frac{4}{9}(0^m,2482) = 0^m,1103$ [a].

---

si heureusement imaginé par Fresnel, pour être appliqué aux machines de rotation des phares. — Ce fragment est extrait d'un registre d'expériences, où il se trouve compris entre deux Notes portant respectivement les dates des 11 et 28 avril 1822. Les premières études d'A. Fresnel sur son volant-pendule paraîtraient donc avoir été postérieures de quinze mois aux observations soumises par lui à la Commission des phares sur les graves inconvénients que présentent les machines de rotation à pendule oscillant comme moteurs des appareils des phares à éclipses. [Voyez l'Extrait précédent, N° XIII (A).] — Près de trois années s'écoulèrent encore avant l'exécution et l'essai de la première machine de rotation réglée par le nouveau modérateur. [Voyez le numéro suivant, XIII (C).]

[a] Suivent sur le registre quelques vérifications et applications numériques.

XIII (C).

EXPÉRIENCES

SUR UNE MACHINE DE ROTATION À VOLANT-PENDULE,

APPLIQUÉE À UN APPAREIL À SEIZE DEMI-LENTILLES [a].

PREMIÈRE EXPÉRIENCE, DU 11 FÉVRIER 1825.

Volant-pendule avec de petites rallonges de carton au bout des ailes fixes. Poids moteur de 60 kilogrammes.

---

[a] La machine de rotation soumise à ces expériences avait été exécutée par M. Lepaute, digne héritier d'un nom célèbre dans l'horlogerie.

La planche VI présente, à l'échelle de $\frac{1}{4}$, deux projections verticales du *volant-pendule* régulateur d'une machine de rotation pour un phare de premier ordre.

Ce pendule conique se compose des pièces principales ci-après, savoir :

1° Un *arbre vertical* tournant portant à sa partie inférieure une lanterne qui engrène avec le dernier mobile de la machine de rotation;

2° Deux *balles mobiles*. — Chacune d'elles est traversée par une tige sur laquelle elle peut glisser, et est soutenue inférieurement par un écrou, à une distance du pivot de suspension déterminée d'après la durée que doivent avoir les révolutions du pendule. — Les deux tiges des balles sont d'ailleurs reliées à l'arbre vertical par une double chape que traversent les pivots;

3° Deux *ailes mobiles*. — Elles sont symétriquement ajustées sur les deux branches égales d'un arbre horizontal fixé en croix sur l'arbre vertical, perpendiculairement au plan des deux tiges des balles. — La monture de ces ailes se rattache auxdites tiges par des articulations combinées de telle sorte qu'à l'état de repos les deux ailes sont dans le même plan horizontal, et qu'elles se redressent symétriquement par l'écartement des balles jusqu'à la limite indiquée par le tracé ponctué;

4° Deux *ailes fixes* montées sur un axe horizontal ajusté à la partie supérieure de l'arbre vertical dans le plan des balles. — Ces ailes peuvent d'ailleurs tourner sur leur axe et être arrêtées à divers degrés d'inclinaison.

Une machine de rotation à volant-pendule bien exécutée peut être facilement réglée

N° XIII (C). 1° Poids de 3 kilogrammes pesant par une ficelle sur l'axe de la roue dentée qui mène le pignon du volant.

$1^h 23^m 13^s$
$12^m 14^s$ pour un tour.
$1^h 35^m 27^s$

NOTA. — Beaucoup d'irrégularité; ralentissements du volant pendant lesquels les pendules touchaient l'axe.

2° Poids de 2 kilogrammes suspendu sur l'axe de la même roue.

$1^h 43^m 59^s$
$4^m 27^s$
$1^h 48^m 26^s$
$4^m 45^s$
$1^h 53^m 11^s$ .... $9^m 12^s$ pour une révolution entière.
$4^m 50^s$
$1^h 58^m 1^s$
$4^m 35^s$
$2^h 2^m 36^s$ .... $9^m 25^s$

3° Poids de 1 kilogramme suspendu à l'axe de la même roue avec la même ficelle.

$2^h 5^m 45^s$
$4^m 17^s$
$2^h 10^m 2^s$
$4^m 16^s$
$2^h 14^m 18^s$ .... $8^m 33^s$ pour un tour.
$2^m 8^s$
$2^h 16^m 26^s$
$2^m 5^s$
$2^h 18^m 31^s$
$2^m 8^s$
$2^h 20^m 39^s$
$2^m 5^s$
$2^h 22^m 44^s$ .... $8^m 26^s$ pour un tour.

---

avec assez d'exactitude pour que les variations dans la durée des phases de l'appareil soient tellement minimes qu'elles échappent à l'observateur le plus attentif faisant des relèvements à la mer. — Ainsi se sont trouvées complétement remplies les conditions auxquelles il s'agissait de satisfaire.

4° Sans pression sur l'axe de la roue. N° XIII (C).

$2^h 27^m 3^s$
$4^m 10^s$
$2^h 31^m 13^s$
$4^m 9^s$
$2^h 35^m 22^s$.........$8^m 19^s$ pour un tour.
$4^m 9^s$
$2^h 39^m 31^s$
$4^m 9^s$
$2^h 43^m 40^s$.........$8^m 18^s$ pour un tour.

SECONDE EXPÉRIENCE, DU 12 FÉVRIER 1825.

A l'aide de rallonges en carton, j'ai donné aux ailes du volant presque toute l'étendue que comporte le cadre dans lequel elles passent.

Poids moteur de 80 kilogrammes.

1° Pression de 3 kilogrammes par une ficelle de fouet sur l'axe de la roue qui mène le volant.

$1^h 16^m 47^s$
$4^m 41^s$
$1^h 21^m 28^s$
$4^m 21^s$
$1^h 25^m 49^s$.........$9^m 2^s$ pour un tour entier de l'appareil.
$4^m 24^s$
$1^h 30^m 13^s$
$4^m 36^s$
$1^h 34^m 49^s$.........$9^m 0^s$ pour un tour.

2° Sans pression.

$1^h 37^m 13^s$
$1^h 45^m 17^s$.........$8^m 4^s$ pour un tour.
$4^m 3^s$
$1^h 49^m 20^s$
$4^m 2^s$
$1^h 53^m 22^s$.........$8^m 5^s$ pour un tour.

N° XIII (C). 3° Sans pression, et toujours avec le moteur de 80 kilogrammes.

$2^h\,20^m\,44^s$
$4^m\,0^s$
$2^h\,24^m\,44^s$
$4^m\,3^s$
$2^h\,28^m\,47^s$.........$8^m\,3^s$ pour un tour.
$4^m\,1^s$
$2^h\,32^m\,48^s$
$4^m\,2^s$
$2^h\,36^m\,50^s$.........$8^m\,3^s$ pour un tour.

Poids moteur de 95 kilogrammes.

1° Sans pression sur l'axe de la roue qui mène le volant.

$2^h\,55^m\,45^s$
$4^m\,3^s$
$2^h\,59^m\,48^s$
$4^m\,3^s$
$3^h\,3^m\,51^s$.........$8^m\,6^s$ pour un tour.

2° Pression de 2 kilogrammes sur l'axe de la roue dentée.

$3^h\,5^m\,54^s$
$4^m\,0^s$
$3^h\,9^m\,54^s$
$4^m\,3^s$
$3^h\,13^m\,57^s$........$8^m\,3^s$ pour un tour.

3° Pression de 3 kilogrammes.

$3^h\,17^m\,3^s$
$4^m\,6^s$
$3^h\,21^m\,9^s$
$4^m\,3^s$
$3^h\,25^m\,12^s$.........$8^m\,9^s$ pour un tour.

N° XIV.

LETTRE D'AUGUSTIN FRESNEL À M. MARITZ FILS,

ENTREPRENEUR DE L'ÉCLAIRAGE DES PHARES DE HOLLANDE [a].

Paris, le 21 juillet 1824.

Monsieur,

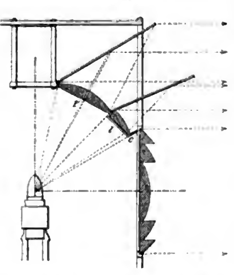
Puisque l'éclairage du phare d'Oostvoorne est maintenant une chose arrêtée par votre Gouvernement, je pense comme vous qu'il faut s'en tenir à l'appareil adopté : les avantages qu'on retirerait de celui que je vous ai proposé en dernier lieu ne sont pas assez supérieurs pour engager à revenir sur une affaire terminée. D'ailleurs il ne permettrait pas, comme celui de huit grandes lentilles, ainsi que vous l'observez, de porter les éclats au maximum d'intensité, lorsque l'emploi du gaz prolongera assez leur durée pour qu'on puisse supprimer les lentilles cylindriques intermédiaires.

Au reste, ce n'est qu'autant qu'elles seront supprimées qu'on pourra juger de toute la portée des grandes lentilles; car les petites lentilles cylindriques affaibliront l'intensité des éclats dans la même proportion qu'elles dilateront les cônes lumineux [b].

(a) [Extrait du registre de la Correspondance administrative d'A. Fresnel.] — MM. Maritz père et fils, directeurs de la fonderie royale d'artillerie de la Haye et entrepreneurs du service des phares de Hollande, ont été les promoteurs de l'introduction dans leur pays du nouveau système d'éclairage maritime. Nous empruntons à leur correspondance avec A. Fresnel et nous publions la présente lettre, comme offrant quelques observations intéressantes sur la composition de divers phares lenticulaires, et spécialement d'un appareil tournant du second ordre à seize demi-lentilles.

(b) Le seul complément que présentent les manuscrits de notre auteur à ce peu de mots sur l'emploi des *lentilles cylindriques intermédiaires* pour augmenter l'amplitude horizontale des éclats des phares tournants se réduit à quelques minutes de calculs, d'où il résulterait que ces pièces additionnelles auraient été groupées à 20 centimètres de distance environ autour du centre focal. Aucune suite au surplus ne paraît avoir été donnée à une combinaison qui n'eût augmenté la durée des éclats qu'aux dépens de leur intensité. Une solution plus heureuse du problème fut postérieurement indiquée par Fresnel dans sa lettre à M. Robert Stevenson, du 25 avril 1825, reproduite sous le numéro suivant.

N° XIV. Le phare de seize demi-lentilles verticales portant seize demi-lentilles additionnelles n'exigerait pas une lanterne plus large ni plus haute que celle de l'appareil de Cordouan; puisque les lentilles additionnelles et leurs miroirs seront divisés en deux étages, comme dans le petit appareil à feu fixe que nous avons fait construire dernièrement, en sorte que ces deux rangées de miroirs dépasseront même un peu moins les montants de l'armature que les grands miroirs de l'appareil de Cordouan. Il semblerait résulter de cette disposition nouvelle une difficulté pour nettoyer, entre les glaces, la seconde rangée de lentilles additionnelles, du moins quand il faudra les nettoyer à fond; car il sera toujours très-facile de les atteindre avec un époussetoir. Mais j'ai trouvé un moyen simple d'obvier à ce petit inconvénient : c'est de faire tourner chaque couple de lentilles *ll'* autour d'une charnière *c*, toutes les fois qu'on voudra essuyer soigneusement avec un linge leurs angles rentrants. Dans ce mouvement, les miroirs restent fixes sur les montants, et les lentilles additionnelles seules tournent autour de la charnière, de manière à présenter au gardien leur surface échelonnée[a].



J'ai évalué à quarante becs de quinquet l'intensité du feu fixe de Cordouan, non par une mesure directe, mais seulement d'après une évaluation approximative. Cet appareil a aussi l'inconvénient de donner moins de lumière dans les angles de ses montants.

Le petit phare à feu fixe du troisième ordre nouvellement construit doit avoir une portée de cinq lieues marines dans des circonstances favorables; mais si vous désirez que ce soit la portée constante du nou-

[a] Le croquis (reproduit ici avec quelques additions) se rapporte à l'appareil de troisième ordre (petit modèle) de 50 centimètres de diamètre intérieur, décrit ci-après au N° XVI.

veau phare de l'île d'Urk, je ne crois pas cet appareil assez puissant, et il me paraît nécessaire d'y placer un appareil du second ordre, qui coûterait 12,000 à 15,000 francs, sans y comprendre la lanterne. Il aurait $1^m,40$ de diamètre entre les lentilles verticales, en sorte que le service de la lampe centrale se ferait très-commodément. Pour un prix presque moitié moindre, ou de 8,000 à 9,000 francs, vous auriez un appareil de 1 mètre de diamètre, qui, illuminé par la même lampe que le premier, vous donnerait les trois quarts de sa lumière, et dans lequel le service de l'éclairage ne pourrait se faire qu'à l'aide d'une forte crémaillère, qui abaisserait la lampe au-dessous des lentilles verticales lorsqu'on voudrait allumer le bec et en régler les mèches, puis la remonterait au foyer commun des lentilles[a]. N° XIV.

Vous attacherez sans doute assez d'importance au phare de l'île d'Urk pour l'éclairer par un bec à trois mèches. Ce bec consomme environ 440 grammes d'huile par heure, ce qui, pour les 4,000 heures de l'année, fera une consommation annuelle de 1,760 kilogrammes. Or cette dépense annuelle équivaut à une mise de fonds de 42,240 francs. Vous voyez donc qu'en économisant 6,000 francs sur le prix de l'appareil (ce qui diminue la lumière d'un quart), vous faites à peine une économie d'un septième, si vous la comparez à la seule dépense de l'huile, et qu'elle est une fraction beaucoup plus petite encore de la dépense totale, si vous y comprenez la construction de la tour, de la lanterne, et le salaire des gardiens. A la vérité, l'appareil de 1 mètre de diamètre aura $0^m,40$ de moins en largeur que celui de $1^m,40$, et un peu moins de hauteur; mais l'économie résultante, ajoutée à celle de 6,000 francs sur l'acquisition de l'appareil, ne fera pas sans doute le dixième de la dépense totale. Or, si en augmentant une dépense d'un dixième vous augmentez d'un tiers la lumière pour laquelle toute cette

[a] L'appareil de troisième ordre de 1 mètre de diamètre, dont la construction avait été commencée en régie sous la direction d'A. Fresnel, ne fut monté qu'après sa mort. L'expérience a d'ailleurs prouvé que, dans les appareils de cette espèce, le service de la lampe focale s'effectue facilement sans déplacement.

N° XIV. dépense a été faite, n'est-il pas raisonnable de consentir à cet accroissement de la dépense première ?

Mais, dira-t-on, cet accroissement d'un tiers dans l'intensité de la lumière est superflu. Je ne le crois pas, parce que les feux fixes sont toujours beaucoup moins brillants que les feux tournants de mêmes dimensions, et que vos côtes sont assez sujettes aux brouillards.

Quant à l'appareil à feux tournants que vous voulez établir à Nieuport, je crois qu'il faudrait aussi y employer des lentilles de $0^{m},70$ de foyer, puisque vous voulez en colorer les feux, ce qui réduira leur intensité à un tiers ou à un quart. Pour rendre les éclats fréquents, il faut, comme vous le proposez, diviser la partie verticale de l'appareil en seize demi-lentilles. Illuminées par un bec à trois mèches, elles donneront à peu près la lumière de six ou sept cents lampes de Carcel, à l'instant du maximum de chaque éclat, et seulement de deux cents lampes semblables quand elles seront recouvertes d'une glace rouge fortement colorée. Les huit lentilles additionnelles pourront avoir la même superficie que celles de Cordouan, sans que leurs miroirs dépassent beaucoup les montants de l'armature, en les faisant à deux étages; mais, n'étant éclairées que par un bec triple, elles auront moins de portée. Je crains qu'en divisant leurs feux en seize éclats au lieu de huit, on ne les affaiblisse trop, et qu'il n'en résulte quelquefois des méprises lorsque la distance ou l'état de l'atmosphère empêcheront de les apercevoir. Il serait peut-être préférable de ne faire produire aux lentilles additionnelles que huit éclats, qui se lieraient à ceux des huit demi-lentilles verticales devant lesquelles vous auriez placé des verres rouges, ce qui produirait alternativement des éclats blancs et d'autres éclats dont la première moitié serait blanche et la deuxième rouge, ou inversement. J'estime qu'à cinq lieues marines la durée des apparitions serait en somme au moins la moitié de celle des éclipses. Mais l'emploi du gaz vous permettrait de les rendre égales, sans augmenter la dépense de l'éclairage.

Si ce phare n'a pas besoin d'avoir autant de portée que je le suppose, on pourrait le composer de seize lentilles verticales de $0^{m},50$ de

foyer et de seize lentilles additionnelles, aussi de $0^m,50$ de foyer. Je suis à même de vous envoyer un croquis de l'appareil quand vous en aurez arrêté les dimensions[a]. Mais en réduisant les dimensions de vos appareils, ne perdez pas de vue, je vous prie, Monsieur, les réflexions que je viens de vous communiquer sur les principes de la véritable économie dans l'éclairage des phares. N° XIV.

M. Wagner et M. Soleil trouvent tout naturel que vous preniez les précautions nécessaires contre les retards dans l'envoi de leurs fournitures, et se soumettent à l'avance à ces clauses du marché.

Agréez, Monsieur, l'assurance de la considération très-distinguée avec laquelle j'ai l'honneur d'être votre très-humble et très-obéissant serviteur.

A. FRESNEL.

P. S. Monsieur Maritz [père] m'avait offert de m'envoyer le dessin d'une fort belle lanterne que vous avez fait construire en Hollande; je serais bien reconnaissant, Monsieur, si vouz aviez la bonté de m'en envoyer une copie, et d'y joindre un croquis d'une des lanternes des phares d'Angleterre qui vous semblent les mieux entendues.

[2e] *P. S.* J'ai tâché d'évaluer d'avance l'effet des demi-lentilles additionnelles que vous proposez, Monsieur, pour le phare de Nieuport, et je trouve que le maximum d'éclat de chaque demi-lentille de $0^m,50$ de foyer, éclairée par un bec triple, équivaudrait à cent cinquante lampes de Carcel : ainsi, elles n'auraient pas à un degré beaucoup plus sensible que les feux rouges l'inconvénient d'être quel-

---

[a] Ce dessin, adressé en communication à M. Maritz par Fresnel, lui fut renvoyé et s'est retrouvé dans ses papiers. La planche VII le reproduit réduit à l'échelle de 4 centimètres pour mètre. Les dispositions générales sont conformes à celles du phare de Cordouan, sauf en ce qui concerne l'addition d'un appareil accessoire à feu fixe, que le Comité des phares de Hollande avait cru devoir écarter comme pouvant donner lieu à quelque méprise, crainte qui ne nous paraît nullement fondée.

Nous avons complété ce dessin du profil coté d'une lentille de second ordre, dressé d'après les résultats des calculs de Fresnel.

N° XV.

LETTRE D'AUGUSTIN FRESNEL À M. ROBERT STEVENSON[a],

INGÉNIEUR DES PHARES D'ÉCOSSE.

Paris, le 26 avril 1825.

Monsieur,

J'ai l'honneur de vous offrir un extrait de mon Mémoire sur la double réfraction; j'y joins deux autres exemplaires que je vous prie d'avoir la bonté de remettre à MM. Brewster et Leslie. J'ai déjà pris la liberté de vous envoyer dernièrement un paquet semblable; je ne sais pas s'il vous est parvenu.

Votre lettre du 12 février, que j'ai reçue au commencement d'avril, me faisait espérer une seconde lettre, qui ne m'est pas encore parvenue. Je pense qu'il serait plus sûr d'employer la poste que des occasions, lorsque nous n'avons que de simples lettres à nous envoyer.

J'ai essayé les nouvelles lentilles que M. Soleil a fabriquées en observant toutes les précautions que je lui avais recommandées, et je les ai trouvées beaucoup plus exactes que les premières. Ce résultat avantageux est dû, en grande partie, à l'intelligence et au zèle avec lesquel MM. Boulard et Tabouret, employés de la Commission des

[a] Cette lettre, classée d'abord dans la Correspondance de Fresnel relative aux phares, a paru devoir en être retirée pour figurer parmi les Mémoires, en raison de l'importance de quelques-unes des indications qu'elle renferme, notamment en ce qui touche une disposition nouvelle de la partie accessoire des appareils à éclipses.

L'éminent ingénieur écossais à qui fut adressée cette série d'observations était venu en France l'année précédente, pour étudier le système des phares lenticulaires, et avait été mis officiellement en rapport avec Augustin Fresnel, par le conseiller d'État directeur général des ponts et chaussées et des mines.

N° XV. phares, ont surveillé l'exécution des anneaux dans l'atelier de M. Soleil. Ces lentilles de nouvelle fabrication sont plus puissantes comme verres ardents et donneront aussi une lumière plus vive dans l'éclairage des phares, comme je m'en suis assuré samedi dernier par une expérience faite en présence du prince Wolkonsky, ambassadeur extraordinaire de Russie. En illuminant toujours la lentille par une lampe portant quatre mèches concentriques, j'ai trouvé que l'intensité de la lumière suivant l'axe équivalait à 3,960 [a] lampes de Carcel. Dans l'expérience que j'avais faite avec vous, en employant une des lentilles qui vous ont été envoyées, nous n'avions trouvé que 2,443 lampes de Carcel : la différence serait de 1,500 lampes de Carcel; c'est-à-dire que l'intensité de la lumière serait augmentée de plus de moitié, de près des deux tiers, du moins suivant la direction de l'axe; car il est probable que le reste du cône lumineux n'a pas augmenté d'éclat dans la même proportion, et qu'il peut même se trouver affaibli vers ses rayons extrêmes en raison de la concentration de la lumière dans la direction de son axe; mais, en somme, il y aura un accroissement sensible dans la lumière reçue par les navigateurs.

Il m'est venu dernièrement l'idée d'appliquer aux feux tournants, pour remplacer les lentilles additionnelles, des glaces légèrement courbes, semblables à celles que je fais exécuter maintenant par M. Soleil pour les phares à feu fixe; je suis sûr d'obtenir ainsi, pour la première partie de l'éclat, un cône lumineux à la fois plus brillant et plus étendu; je suis persuadé que ces miroirs cylindriques, substitués aux lentilles additionnelles et à leurs glaces, apporteront une augmentation notable dans l'effet des éclats, dont la première partie sera à la fois plus longue et mieux nourrie. Alors on aura tiré de la lu-

---

[a] Ce résultat nous semble un peu fort. Au surplus les expériences photométriques, dans lesquelles on compare les intensités des ombres portées simultanément par une lampe prise pour unité et une lentille de verre illuminée par une flamme focale, ne comportent pas une grande précision, eu égard à la différence de couleur des deux ombres, l'une verdâtre et l'autre rougeâtre.

mière centrale tout le parti possible, et je n'entrevois pas qu'il reste après cela de perfectionnements importants à faire dans l'appareil d'éclairage[a]. N° XV.

Vos marins ont pu déjà vous donner des nouvelles du petit phare de Dunkerque, que vous avez vu à Paris, et dont l'éclairage a commencé le 1er février. On l'aperçoit d'assez loin, malgré la petitesse de ses dimensions. En les doublant, c'est-à-dire en lui donnant 1 mètre de diamètre au lieu 0m,50, on doublerait presque l'effet qu'il produit, sans changer la lampe ou la dépense d'huile : c'est ce que nous ferons sans doute pour plusieurs phares du troisième ordre.

Notre Commission des phares s'est occupée, vendredi dernier, du système général de l'éclairage des côtes de France, et l'arrêtera sans doute définitivement dans sa prochaine séance. Lorsque ce tableau de la distribution des feux des différents ordres sur les côtes de France

---

[a] Ce paragraphe doit être particulièrement remarqué, et, eu égard à son importance, nous ne croyons pas inutile de rappeler sommairement ici les explications données à ce sujet dans notre *Introduction*.

La combinaison que Fresnel indique pour prolonger les éclats des lentilles tournantes, et qu'il semble présenter comme toute nouvelle, reproduit l'idée déjà consignée par lui dans le *post-scriptum* de son Mémoire sur les phares publié en 1822 (N° VIII), sauf cette seule différence qu'ici les *miroirs concaves* sont substitués aux *miroirs plans*. Théoriquement, il ne s'agissait, dans un cas comme dans l'autre, que de rattacher aux panneaux lenticulaires des réflecteurs composés de zones paraboliques échelonnées autour d'un axe commun, et l'on aurait d'ailleurs fait diverger les axes des lentilles et des réflecteurs de manière à donner toute l'amplitude possible au double faisceau lumineux.

Nous avons figuré cette combinaison sur la planche VIII, laquelle n'est que la traduction graphique des indications ressortant du passage ci-dessus, en supposant toutefois, pour éviter une inutile complication, les zones catoptriques annulaires et continues.

Fresnel suivait ici le programme des phares à *éclipses totales*, auquel les marins et les ingénieurs anglais donnent une préférence peut-être trop exclusive, et y satisfaisait par la meilleure solution que pussent lui fournir les éléments optiques à sa disposition. Il ne lui restait plus qu'à porter l'*effet utile* de ce système mixte au maximum, en substituant la *réflexion totale* à la *réflexion spéculaire*. C'est ce qu'il fit l'année suivante de la manière la plus heureuse, mais seulement pour de petits fanaux à feu fixe. Une mort prématurée l'enleva à ses travaux avant qu'il eût pu appliquer cette dernière et féconde invention à la partie accessoire de ses appareils fixes et tournants des ordres supérieurs.

N° XV. aura été approuvé par M. Becquey, je pourrai, Monsieur, si vous le désirez, vous en envoyer une copie.

Agréez, Monsieur, les sentiments de haute considération avec lesquels j'ai l'honneur d'être,

Votre très-humble et très-obéissant serviteur.

A. FRESNEL

XVI.

APPAREIL DIOPTRIQUE DE TROISIÈME ORDRE

À FEU FIXE,

PROVISOIREMENT INSTALLÉ À DUNKERQUE.

N° XVI (A).

NOTE

SUR UN PETIT PHARE LENTICULAIRE DE TROISIÈME ORDRE

À FEU FIXE[a].

[*Bulletin de la Société philomathique*, cahier d'avril 1824.]

M. Fresnel a présenté à l'Académie des sciences, dans sa séance du

---

[a] Nous avons déjà fait observer, à l'occasion du paragraphe bâtonné sur le manuscrit autographe de la Note II, annexée au Mémoire N° VI (p. 88), que la Commission des phares, dans ses premières études d'un système d'éclairage des côtes de France, avait cru ne devoir y admettre que des appareils *à feu changeant*. L'exclusion des *feux fixes*, sur laquelle un plus mûr examen fit depuis revenir, explique pourquoi Fresnel ne s'occupa que si tardivement des détails de leur composition dans son système dioptrique. Le problème était d'ailleurs théoriquement résolu : en effet, le même profil échelonné qui, par sa révolution autour de l'axe focal, engendrait la lentille polyzonale, devait produire, par sa révolution autour de la perpendiculaire élevée au foyer sur le même axe, un tambour dioptrique qui réfracterait parallèlement au plan équatorial et distribuerait uniformément dans tous les azimuts les rayons incidents émanés du centre focal. Le même mode de génération s'appliquait également à la partie accessoire, sauf à la diviser en plusieurs étages pour la rendre moins encombrante et en faciliter l'exécution.

C'est ainsi que fut composé le petit appareil à feu fixe dont la description fait l'objet de la présente Note; mais, à défaut des équipages mécaniques nécessaires pour l'exécution des zones optiques sous forme annulaire, il fallut adopter la forme polygonale. Voyez la planche IX, qui présente les profils vertical et horizontal dudit appareil réduits à l'échelle de $\frac{1}{14}$ d'après l'épure d'A. Fresnel.

N° XVI (A). 3 mai[a], un petit appareil dioptrique pour l'éclairage des phares à feu fixe du troisième ordre; il doit être placé sur *le Pilier*, écueil situé à l'entrée de la Loire[b], et sa lumière pourra être aperçue de tous les côtés jusqu'à quatre lieues marines de distance. Il est difficile de donner une idée bien nette de sa construction sans le secours d'un dessin: nous essayerons cependant de le décrire en peu de mots.

L'appareil est illuminé par un seul bec de lampe placé au centre, qui porte deux mèches concentriques et donne une lumière équivalente à quatre lampes et demie de Carcel, en consommant 190 grammes d'huile par heure. Cette lampe est entourée de lentilles verticales à échelons, qui reçoivent tous les rayons lumineux compris dans un angle de 30 degrés au-dessous et au-dessus du plan horizontal passant par le foyer commun, c'est-à-dire au moins la moitié des rayons qui émanent de ce point. Ces lentilles et leurs échelons sont terminés d'un côté par une face plane, et de l'autre par des portions de surfaces cylindriques dont les arêtes se trouvent dans une situation horizontale. Ainsi l'épaisseur de ces verres reste constante dans le sens horizontal, et varie seulement dans le sens vertical, de manière que les rayons réfractés sortent tous parallèles à l'horizon, en conservant d'ailleurs leur divergence horizontale primitive, pour qu'ils se répandent également de tous les côtés. Les arêtes de ces portions de surfaces cylindriques forment autour de la lumière centrale un polygone régulier de seize côtés, dont le diamètre intérieur est de $0^m,50$.

Au-dessus et au-dessous de cette partie verticale de l'appareil, une rangée de seize lentilles cylindriques reçoit les rayons compris dans une zone de 15 degrés et les réfracte suivant des directions obliques parallèles aux plans passant par le foyer commun et l'arête horizontale qui répond au centre optique de chaque lentille; seize miroirs étamés

---

[a] La discordance de cette date avec celle du *Bulletin* s'explique par le retard de la publication du cahier d'avril.

[b] Il fut ultérieurement décidé que l'écueil du Pilier serait signalé par un appareil à feu fixe varié par des éclats.

placés au-dessus de la rangée supérieure, comme au-dessous de la rangée inférieure, ramènent les rayons, par réflexion, à des directions horizontales. Il y a encore au-dessus de la rangée supérieure une seconde rangée de lentilles semblables, qui entourent la cheminée de la lampe en ne laissant que l'ouverture nécessaire; de cette manière, la lumière centrale est comme enveloppée par l'appareil lenticulaire, qui recueille presque tous ses rayons. N° XVI (A).

Pour qu'ils fussent distribués avec une exacte uniformité sur l'horizon, il faudrait que les polygones de seize côtés dont nous venons de parler devinssent des circonférences de cercle, et que les miroirs étamés, au lieu de former des troncs de pyramide à seize pans, se courbassent en surfaces coniques; mais il en serait résulté, pour les miroirs, une augmentation de prix considérable.

Ce phare a été mis en expérience avant l'exécution de la rangée inférieure des lentilles additionnelles, et voici les résultats des mesures : dans les directions les mieux éclairées, sa lumière est égale à celle de quarante-huit lampes de Carcel; dans les angles occupés par les huit montants de cuivre qui soutiennent les lentilles verticales, elle équivaut encore à vingt-trois lampes de Carcel, et pourrait, à la rigueur, être aperçue, par un temps favorable, à six lieues marines de distance. Enfin, dans les autres angles du polygone, où les verres sont collés bord à bord, la lumière équivaut à trente et une lampes de Carcel. Les verres de la rangée inférieure seront disposés de manière que leur maximum de lumière corresponde aux angles des montants qui sont les moins éclairés.

Ce fanal présente de tous les côtés une barre de feu verticale ayant $0^{m},65$ de hauteur et la même largeur que la flamme centrale, qui est de $0^{m},04$. Il est facile de se rendre raison de cet effet optique des lentilles cylindriques. L'aspect particulier de ce fanal pourrait ainsi le faire distinguer d'un feu allumé accidentellement sur la côte, même à une distance de trois à quatre lieues, en se servant d'une lunette qui grossirait vingt fois.

Un appareil dioptrique construit dans le même système, mais sur

N° XVI (A). une échelle quatre fois plus grande, étant illuminé par une lampe à quatre mèches, qui brûle une livre et demie d'huile par heure, enverrait, sur tous les points de l'horizon à la fois, une lumière égale à trois cents lampes de Carcel; et la barre de feu qu'il présenterait aurait plus de 2 mètres de hauteur. Les expériences que M. Fresnel vient de faire sur l'application du gaz d'huile à l'éclairage des phares, et dont nous rendrons compte dans le prochain numéro, donnent l'espoir bien fondé de porter la lumière de ces phares à feu fixe du premier ordre jusqu'à une intensité de quatre cents lampes de Carcel ou cinq cents becs de quinquet, en plaçant au centre de l'appareil un bec à gaz composé de cinq couronnes concentriques.

N° XVI (B).

LETTRE D'AUGUSTIN FRESNEL À M. BECQUEY,

DIRECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES (*).

Paris, le 3 octobre 1824.

Monsieur le Directeur général,

J'ai l'honneur de vous informer que la lanterne et le petit appareil à feu fixe destinés pour le phare de Dunkerque, après avoir été examinés par M. l'inspecteur général Sganzin, qui les a trouvés bien conditionnés, ont été emballés et mis au roulage accéléré. Ils partiront mardi pour Dunkerque.

Je vous prie, Monsieur le Directeur général, de m'autoriser à envoyer à Dunkerque M. Boulard, conducteur attaché à la Commission des phares, pour diriger, sous les ordres de M. l'ingénieur en chef Bosquillon, l'installation de l'appareil et former les gardiens au service des nouvelles lampes.

M. Soleil fils, qui a construit l'armature de l'appareil et la lanterne, offre d'aider à les installer moyennant une indemnité de 120 francs pour son voyage et ses journées comptées à 5 francs chacune. M. Boulard, ayant pris une connaissance très-détaillée de toutes les pièces de l'appareil et de la lanterne, peut à la rigueur se passer du secours de l'artiste qui les a construits. Néanmoins, si quelque pièce venait à être faussée ou cassée par accident, personne mieux que M. Soleil fils ne serait capable d'y remédier promptement. Cette considération, jointe

---

(*) La reproduction de cette lettre administrative et de la suivante nous a paru de quelque intérêt, comme fixant les dates de l'achèvement et de l'installation du second appareil lenticulaire exécuté sur les dessins d'A. Fresnel. Il s'occupait dès lors de la construction des appareils d'éclairage des phares de l'île Planier (près de Marseille), de Chassiron (île d'Oléron), de la Pointe des Baleines (île de Ré), de Belle-Île, etc. mais sa fin prématurée devança leur achèvement.

N° XVI (B). à la modicité de l'indemnité demandée, me fait penser qu'il est avantageux d'accepter la proposition de M. Soleil. D'ailleurs l'augmentation de dépense d'installation qui en résultera ne sera pas même de 120 francs, puisque cet artiste, aidant en même temps de ses conseils et de ses bras, comme ouvrier, remplacera le mécanicien ou le serrurier de Dunkerque qu'il aurait fallu employer[a].

Je suis, etc.

A. FRESNEL.

---

[a] M. Soleil fils, qui acceptait cette mission si modeste et si faiblement rétribuée, est ce même artiste qui s'est fait connaître du monde savant par d'ingénieux perfectionnements apportés à la construction des appareils pour l'étude des phénomènes de la diffraction, de la polarisation et de la double réfraction de la lumière.

N° XVI (C).

LETTRE D'AUGUSTIN FRESNEL À M. BECQUEY.

Paris, le 4 novembre 1824.

Monsieur le Directeur général,

Je viens de recevoir une lettre de M. l'ingénieur en chef Bosquillon, qui me prévient que vous êtes informé par son rapport de l'installation de la lanterne et de l'appareil d'éclairage du phare de Dunkerque. J'ai l'honneur de vous proposer, Monsieur le Directeur général, d'annoncer aux marins que ce phare sera allumé à partir du 1er février de l'année prochaine, en faisant publier dans les journaux l'avis suivant :

« Les navigateurs sont avertis que, à partir du 1er février 1825, « il sera allumé à Dunkerque, sur la tour de l'Heuguenar, située sur « le quai, dans la direction du chenal, un petit feu fixe qui pourra être « aperçu en temps ordinaire jusqu'à la distance de six lieues. Ce phare « et le fanal établi à l'extrémité de la jetée donneront précisément « l'alignement du chenal. »

Je suis, etc.

A. FRESNEL.

N° XVI (D).

NOTE

SUR LES PHARES [1] [a].

On emploie sur les côtes, pour guider les navigateurs, deux sortes de feux, les feux fixes et les feux tournants. Les premiers envoient la lumière à la fois vers tous les points de l'horizon; les seconds, en raison du mouvement de rotation de l'appareil d'éclairage, permettent de ramasser les rayons lumineux en faisceaux plus brillants, qui se trouvent alors séparés par des angles privés de lumière; ces cônes lumineux et ces angles obscurs, faisant le tour de l'horizon pendant la révolution de l'appareil, vont rencontrer l'œil de l'observateur, en quelque point qu'il soit situé. Ce passage alternatif d'angles obscurs et d'angles brillants lui présente une succession d'éclipses et d'éclats, qui donnent à ces sortes de phares un caractère particulier, facile à distinguer.

L'objet des appareils d'éclairage est toujours de ramener vers l'horizon tous les rayons de lumière qui émanent de l'objet éclairant; seulement les uns les concentrent dans les angles chargés de lumière, qui donnent les éclats, tandis que les autres doivent laisser les rayons diverger vers tous les points de l'horizon, de manière à les éclairer

[1] Voir, pour de plus amples détails, le *Bulletin de la Société philomathique*, avril 1824.

[a] Cette Note, rédigée en 1825, paraît avoir été destinée au *Moniteur*, où toutefois nous l'avons vainement cherchée. Après avoir sommairement exposé les conditions principales à remplir pour l'éclairage des côtes maritimes, l'auteur insiste particulièrement sur les dispositions imaginées par lui pour les appareils lenticulaires *à feu fixe*, en rappelant la description donnée dans la Note précédente du premier appareil de cette espèce exécuté sur ses dessins et présenté à l'Académie des sciences dans sa séance du 3 mai 1824.



simultanément avec une intensité à peu près égale. On conçoit en conséquence que les feux tournants doivent avoir, sous le rapport de l'intensité de la lumière, une grande supériorité sur les feux fixes. Mais cette supériorité est compensée en partie par la prolongation de la sensation que ceux-ci procurent à l'œil du navigateur, et par cet autre avantage qu'on ne les perd jamais de vue. D'ailleurs il est nécessaire d'employer alternativement sur les divers points les feux fixes et les feux à éclipses, pour éviter la confusion. N° XVI (D).

Nous avons déjà parlé des perfectionnements que M. Fresnel a apportés dans le système d'éclairage des phares à feux tournants, en substituant de grands verres ardents aux réflecteurs paraboliques qu'on avait employés jusqu'alors. La supériorité des nouveaux appareils tient particulièrement à ce que la lumière est beaucoup moins affaiblie par sa réfraction au travers du verre que par sa réflexion sur des miroirs métalliques et même sur des glaces étamées. M. Fresnel a appliqué les mêmes principes, avec un égal succès, à l'éclairage des phares à feu fixe, et il a présenté, l'année dernière, à l'Institut un petit appareil de ce genre, qui est maintenant établi à Dunkerque.

La lumière est toujours placée au centre de l'appareil. Elle est entourée de lentilles cylindriques verticales, qui ramènent vers l'horizon tous les rayons tombés sur leur surface. Mais les morceaux de verre dont elles se composent ne sont courbes et prismatiques que dans le sens vertical, et ne changent ainsi la direction des rayons que dans ce sens seulement, en leur laissant leur divergence horizontale [a]. Par ce moyen, plus de la moitié de la lumière qui émane de la lampe est dirigée sur la surface de la mer.

M. Fresnel a voulu tirer encore parti des rayons qui passent par-dessus et par-dessous cette enceinte verticale de lentilles cylindriques, et pour cela il a placé d'autres lentilles au-dessus et au-dessous, de manière à envelopper la lumière centrale et à recevoir la presque totalité de ses rayons. Mais dans cette partie supplémentaire de l'appa-

[a] Voir la note (a) du N° XVI (A), p. 209.

N° XVI (D). reil il a été obligé d'employer de petites glaces étamées, pour renvoyer vers l'horizon des rayons que la seule réfraction n'aurait pu briser suffisamment, à cause de leur forte inclinaison. Ainsi la partie principale de ce petit phare à feu fixe est simplement dioptrique, et la partie supplémentaire est à la fois dioptrique et catoptrique. M. Fresnel se propose de supprimer dorénavant dans celle-ci les lentilles additionnelles, en employant des glaces légèrement courbes[a].

L'appareil établi à Dunkerque n'a que $0^{m},50$ de diamètre intérieur, et n'est illuminé que par un bec de lampe portant deux mèches concentriques, qui équivaut à quatre lampes et demie de Carcel. Dans les directions les mieux éclairées, sa lumière est égale à celle de quarante-huit lampes de Carcel; dans les angles occupés par les huit montants de cuivre qui soutiennent les lentilles, elle équivaut encore à vingt-trois lampes de Carcel. En somme, la lumière centrale est presque décuplée par l'effet de l'appareil. Avec un appareil de six pieds de diamètre, illuminé par une lampe à quatre mèches équivalant à dix-huit lampes de Carcel ou vingt-deux becs de quinquet, M. Fresnel espère obtenir une augmentation beaucoup plus considérable de la lumière centrale, et porter sur tous les points de l'horizon une lumière égale à celle que donneraient quatre cents becs de quinquet. On augmentera encore cet effet en employant le gaz d'huile, qui permettra de multiplier davantage le nombre des flammes concentriques.

---

[a] Après avoir remplacé, dans la partie accessoire de ses appareils d'éclairage, les zones mixtes de lentilles et de miroirs plans par des zones polygonales de petits miroirs concaves en glaces étamées, Fresnel imagina d'y substituer des anneaux de verre à réflexion totale. Il les appliqua d'abord à de petits fanaux de $0^{m},25$ à $0^{m},30$ de diamètre, en attendant qu'on fût en mesure d'introduire, dans la composition des appareils d'éclairage des ordres supérieurs, cette amélioration d'un si haut intérêt, sous le double rapport théorique et pratique. (Voyez N° XXI.)

N° XVII.

APPAREILS DIOPTRIQUES DE PREMIER ORDRE A FEU FIXE,

AVEC SYSTÈME ACCESSOIRE CATOPTRIQUE [*].

LETTRE D'AUGUSTIN FRESNEL À M. SOLEIL,

OPTICIEN.

Paris, le 14 mai 1825.

Monsieur,

Je vous ai prévenu depuis longtemps que M. le directeur général des ponts et chaussées avait ordonné, par sa décision du 4 septembre 1824,

[*] En l'absence de toute Note de notre auteur sur l'ensemble des combinaisons imaginées par lui pour ses grands appareils dioptriques *à feu fixe*, nous reproduisons cette simple commande administrative, comme nous fournissant des dates authentiques et pouvant servir de texte aux explications sommaires que nous avons à présenter à ce sujet.

Dans notre première annotation au N° XVI (A), nous avons fait observer que, lorsque Fresnel fut tardivement appelé à s'occuper de la composition des appareils dioptriques à feu fixe, il avait déjà implicitement résolu le problème théorique par ses études sur les appareils tournants. En effet, quant à la partie principale, le profil lenticulaire échelonné, qui, par sa révolution autour de son axe optique, engendre la lentille polyzonale plan-convexe, doit produire, par sa révolution autour de la perpendiculaire élevée sur le même axe au centre focal, le tambour dioptrique d'un appareil à feu fixe. — Pareil mode de génération s'appliquerait également à la partie accessoire destinée à recueillir et projeter sur l'horizon les rayons focaux divergeant au-dessus et au-dessous du tambour dioptrique; mais ici trois combinaisons principales sont à considérer, savoir :

1° Des zones catoptriques étagées, engendrées par des arcs paraboliques ayant pour foyers, à la partie supérieure, le foyer commun, et, à la partie inférieure, un point de la partie de la flamme centrale non occultée par le bec de la lampe;

2° Un système mixte [tel que celui du petit appareil de Dunkerque (N° XVI)], formé de doubles cours de zones dioptriques et catoptriques;

3° Des anneaux de verre à section prismatique, profilés de manière à réfléchir totalement et à projeter horizontalement, dans tous leurs méridiens, les rayons focaux incidents.

La dernière combinaison est évidemment de beaucoup préférable aux deux autres. Mais,

N° XVII. la construction d'un grand appareil lenticulaire à feu fixe pour le phare de Chassiron [île d'Oléron]. Je vous engage de nouveau à terminer promptement la construction des machines nécessaires pour l'exécution des glaces courbes et des verres lenticulaires.

La Commission des phares doit proposer à M. le directeur général

---

comme Fresnel ne l'imagina que peu de temps avant sa fin prématurée et ne la réalisa que sur une petite échelle, nous ne la mentionnons ici que pour mémoire.

La seconde combinaison, indépendamment de graves difficultés d'exécution, est théoriquement inférieure à la première, eu égard à la fraction de lumière absorbée par les zones dioptriques.

Fresnel crut devoir s'arrêter à la première combinaison. L'appareil de premier ordre qu'il commanda à M. Soleil, pour le phare de Chassiron, dut en conséquence se composer d'un tambour dioptrique surmonté d'une coupole de zones catoptriques de glaces concaves étamées et d'un soubassement formé de glaces de même espèce étagées comme les lames d'une persienne.

Il ne pouvait encore être question, avec des moyens mécaniques très-restreints, d'exécuter sous forme annulaire les zones dioptriques et catoptriques. Il fallut donc recourir de nouveau au système polygonal, sauf à multiplier les facettes de manière à distribuer la lumière sur l'horizon aussi uniformément que possible.

Nous avons esquissé, d'après les dessins et résultats de calculs de Fresnel, et réuni sur la planche X les figures nécessaires pour donner une idée complète de l'ensemble et des principaux détails de la partie optique de son appareil, dont la description peut être ainsi résumée :

1° Le *tambour dioptrique*, de $0^{m},92$ de rayon intérieur et de 1 mètre de hauteur, forme un prisme droit régulier à trente-deux pans, réunis deux à deux dans un cadre en bronze et comprenant chacun dix-sept éléments cylindriques (plans-convexes) profilés comme les anneaux correspondants des grandes lentilles polyzonales.

2° La *coupole catoptrique*, de $1^{m},10$ de hauteur, se compose de sept zones, comprenant chacune trente-deux miroirs à courbure cylindrique.

3° Le système catoptrique inférieur, de $1^{m},50$ de diamètre intérieur sur $0^{m},66$ de hauteur, comprend quatre zones superposées de trente-deux miroirs chacune.

4° Une armature en fer relie tout le système optique, au centre duquel s'installe sur un trépied la lampe mécanique, ainsi que dans l'appareil tournant figuré sur la planche IV.

5° Chaque miroir, enchâssé dans un cadre en cuivre, est soutenu par deux cours de tringles auxquelles le rattachent trois pattes à vis servant en même temps à régler sa position. — Il est d'ailleurs à observer que, pour obtenir une distribution aussi égale que possible de la lumière dans les divers azimuts, on doit faire correspondre les milieux des fuseaux catoptriques aux arêtes du tambour dioptrique.

6° Enfin, lorsqu'il ne s'agit pas d'un phare isolé en mer, on place dans le secteur qui

l'établissement successif de quatorze appareils semblables, et vous serez sans doute chargé de leur fabrication, si vous apportez dans l'exécution de celui-ci la célérité et l'exactitude demandées. N° XVII.

Je joins à cette lettre un tableau contenant les largeurs verticales des anneaux de l'appareil à feu fixe du premier ordre, les longueurs de leurs rayons de courbure et les distances verticales et horizontales qui donnent la position de leurs centres de courbure. (Voyez au verso.)

J'ai l'honneur d'être, etc.

L'ingénieur en chef, secrétaire de la Commission des phares,

A. FRESNEL.

---

peut rester obscur un miroir sphérique, pour renvoyer au foyer commun les rayons divergeant du côté de terre.

L'*effet utile moyen* d'un appareil polygonal ainsi disposé peut être évalué à 280 becs de Carcel pour la partie dioptrique, et à 120 becs pour les deux parties accessoires, ce qui donne un éclat total de 400 becs, répondant à peu près aux prévisions de l'inventeur.

L'exécution des éléments optiques de l'appareil de Chassiron et l'établissement des équipages mécaniques qu'elle nécessita présentèrent au début de graves difficultés, que Fresnel parvint à surmonter. Il ne vécut pas assez pour voir terminer le premier grand appareil dioptrique à feu fixe; mais il obtint, dans ses derniers jours, un résultat d'une tout autre importance par l'exécution complète d'un petit fanal *catadioptrique* à éléments annulaires, suivant la troisième combinaison ci-dessus indiquée, qui fut le couronnement de son œuvre. (Voyez N° XXI.)

N° XVII.

LARGEURS ET COURBURES

DES ANNEAUX CYLINDRIQUES

DES PHARES À FEU FIXE DU PREMIER ORDRE.

[Tableau annexé à la lettre précédente.]

NUMÉROS DES ANNEAUX.	LARGEURS VERTICALES des anneaux.	LONGUEURS DES RAYONS de courbure.	DISTANCE VERTICALE du centre de courbure au bord mince de l'anneau.	DISTANCE HORIZONTALE du centre de courbure à la surface intérieure de l'anneau.	OBSERVATIONS.
	mm	mm	mm	mm	
1	280,00	483,50	140,00	454,79	Pour le numéro 1 le centre de courbure répond au milieu de la largeur de l'anneau. Les distances *verticales* et *horizontales* se rapportent à la position des anneaux dans l'appareil d'éclairage, et non à celle qu'ils auront sur les machines avec lesquelles on les rodera. La hauteur totale des lentilles verticales sera de 980 millimètres. Elles seront au nombre de seize et formeront autour de la lampe centrale un polygone régulier de trente-deux côtés et dont le rayon intérieur sera égal à 930 millimètres. La longueur de chacun des trente-deux morceaux, en déduisant l'épaisseur du cadre sera de [......] en dedans du polygone.
2	68,15	543,60	221,23	488,55	
3	54,25	598,62	294,12	513,38	
4	46,80	659,77	366,20	540,81	
5	41,30	719,84	435,36	565,27	
6	36,94	779,48	502,37	588,00	
7	34,79	846,45	573,73	614,35	
8	34,00	911,94	644,78	636,90	
9	33,77	982,35	720,17	660,11	

XVIII.

APPAREILS A FEU FIXE

VARIÉ PAR DES ÉCLATS[a].

N° XVIII (A).

EXPÉRIENCES

SUR UN APPAREIL DIOPTRIQUE À FEU FIXE

VARIÉ PAR DES ÉCLATS

PRÉCÉDÉS ET SUIVIS DE COURTES ÉCLIPSES.

PREMIÈRE CONVOCATION DE LA COMMISSION DES PHARES.

Paris, le 8 mai 1825.

M. Fresnel a l'honneur de prévenir MM. [Halgan, de Prony, Tarbé, Rolland, de Rossel, Arago et Mathieu] que les membres de la Com-

---

[a] Nous nous retrouvons ici dans la nécessité de suppléer par quelques explications à l'absence d'une Notice de notre auteur spécialement relative à l'ingénieuse combinaison optique qui fait l'objet des documents réunis sous le présent N° XVIII.

Au mois d'avril 1825, la Commission des phares avait arrêté les bases principales de son projet général d'éclairage des côtes de France, reproduit ci-après sous le N° XX. Les phares proprement dits devaient être au nombre de 51, savoir :

1er ordre	28	51
2e ordre	5	
3e ordre	18	

La question des divers caractères à donner aux feux, à l'effet d'obvier autant que possible à de fatales méprises, avait été longuement étudiée et discutée par la Commission. Or, après avoir écarté les *feux colorés*, comme de trop courte portée, et toutes les combinai-

N° XVIII (A). mission des phares se réuniront mercredi soir, 11 du courant, à l'Observatoire royal, pour juger, d'après l'expérience, si les phares désignés

---

sons qui dès l'abord n'offraient pas un caractère bien tranché, on se trouvait réduit à ces trois espèces :

1° Les feux à éclats apparaissant de minute en minute et alternant avec des éclipses plus ou moins complètes;

2° Les feux à éclats se succédant de 30 en 30 secondes;

3° Les feux fixes.

Ces trois effets pouvaient être facilement obtenus avec les appareils des deux premiers ordres, ayant respectivement $1^m,84$ et $1^m,40$ de diamètre intérieur; mais pour le troisième ordre, de $0^m,50$ à 1 mètre de diamètre, qui ne pouvait produire que de médiocres éclats, on avait cru d'abord ne devoir admettre que des feux fixes, tout en reconnaissant qu'il pouvait en résulter des chances de confusion.

Ce fut pour rompre cette uniformité que Fresnel imagina la combinaison toute nouvelle qu'il expose ainsi qu'il suit dans son Rapport du 22 avril 1825 (N° XIX) SUR LES CARACTÈRES DISTINCTIFS DES APPAREILS D'ÉCLAIRAGE :

« . . . Il était cependant indispensable de trouver un moyen de les différencier [les feux de troisième ordre] soit entre eux, soit entre les phares voisins du premier ou du second ordre, que les marins auraient pu quelquefois confondre avec les feux de troisième ordre, malgré la grande différence d'éclat et de portée. Pour cela il suffira de faire tourner autour de ceux de ces feux fixes auxquels on voudra donner un caractère particulier un appareil portant trois petites lentilles cylindriques [équidistantes]. Elles seront semblables * à celles du phare à feu fixe [ou plutôt engendrées par le même profil], mais auront leur courbure dirigée dans le sens horizontal, au lieu d'être courbes dans le sens vertical, comme celles-ci; en sorte qu'en passant devant elles, elles produiront chacune, par leur superposition, un effet semblable à celui des lentilles sphériques ou annulaires [polyzonales], c'est-à-dire qu'elles diminueront la divergence des rayons dans le sens horizontal, et les rassembleront en un cône lumineux qui donnera la sensation d'un éclat quand il passera par l'œil de l'observateur; mais il est évident que cet accroissement de lumière dans une direction ne pourra avoir lieu qu'aux dépens de celle qui éclairait les directions voisines, et qu'ainsi chaque éclat sera précédé et suivi d'une petite éclipse.

« L'expérience a montré à la Commission que ce sont principalement ces courtes

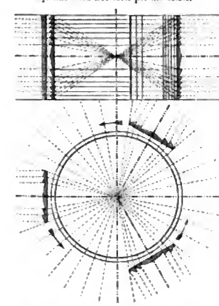
* L'inexactitude apparente de cette expression disparaît si l'on considère que le petit appareil à feu fixe mis en expérience était formé non pas de zones *annulaires*, qu'on n'était pas encore en mesure d'exécuter, mais de zones *polygonales* à éléments *cylindriques*.

dans le Tableau général sous le nom de *feux fixes à éclats* se distinguent suffisamment des feux fixes et des feux tournants ordinaires. Nº XVIII (A).

« éclipses qui feront distinguer des feux fixes ces nouveaux phares; c'est pourquoi « elle les a nommés *feux à courtes éclipses*. Ils ne pourront pas être confondus avec « les feux tournants ordinaires, dans lesquels la lumière est bien moins long« temps visible comparativement à la durée des éclipses. En effet, si l'on fait faire « au système des trois lentilles mobiles sa révolution entière en 12 minutes, chaque « petit éclat aura une durée de 15 secondes environ et sera précédé et suivi d'une « éclipse de 25 secondes seulement; après quoi le feu restera fixe pendant 2 mi« nutes 55 secondes, c'est-à-dire près de 3 minutes. Ces effets seront répétés trois « fois dans chaque révolution, puisqu'il y a trois lentilles mobiles, et se succéde« ront continuellement en présentant toujours une lumière fixe pendant 2 minutes « 55 secondes ou 2 minutes 50 secondes au moins, suivie d'une éclipse de 25 ou « 30 secondes au plus, puis d'un petit éclat de 15 ou 10 secondes, et enfin d'une « éclipse de 25 ou 30 secondes; après quoi la lumière reparaîtra pendant 2 minutes « 50 secondes, et ainsi de suite. »

L'importance de cette combinaison, applicable aux phares dioptriques de tous les ordres ainsi qu'aux petits fanaux d'entrée de port, nous a déterminé à dévier un peu de l'ordre chronologique, pour la faire ressortir dans un article spécial.

Système à feu fixe varié par des éclats.



Nous complétons les explications d'A. Fresnel par l'esquisse d'un tambour dioptrique à *zones annulaires*, dont le feu fixe est varié par la révolution de trois panneaux dioptriques verticaux à éléments cylindriques plans-convexes.

La description qui précède nous dispense de plus amples développements à ce sujet. Nous ferons seulement remarquer, relativement aux expériences qui ont servi de texte à la présente note, qu'elles furent faites dans des circonstances singulièrement défavorables. On ne put disposer en effet que d'un petit appareil à zones *polygonales* de $0^m.50$ de diamètre. Si l'on eût opéré avec un appareil de troisième ordre à zones *annulaires*, du diamètre normal de 1 mètre, les effets eussent été plus tranchés, et il est présumable que la Commission, au lieu d'adopter la dénomination trop peu précise de *feu à courtes éclipses*, eût maintenu la première désignation, plus nettement caractéristique, de *feu fixe varié par des éclats précédés et suivis de courtes éclipses.*

N° XVIII (A). L'expérience commencera à 8 heures 1/2 précises.

On se servira d'un phare à feu fixe du troisième ordre, semblable à celui de Dunkerque. Il sera placé à Cormeilles, qui est distant de l'Observatoire de 19,000 mètres, c'est-à-dire environ trois lieues et demie marines.

SECONDE CONVOCATION.

Paris, le 15 mai 1825.

M. Fresnel a l'honneur de prévenir MM. etc. que les membres de la Commission des phares se réuniront mercredi soir, 18 du courant, à l'Observatoire royal, pour assister à une seconde expérience sur les *feux fixes à éclats.*

Cette expérience commencera à 9 heures précises. On emploiera le même phare du troisième ordre qui a déjà servi à l'expérience précédente, mais il sera plus voisin de Paris, de manière qu'on puisse le distinguer plus aisément.

PROGRAMME DE L'EXPÉRIENCE.

De 9 heures à 9 heures 32 minutes, *deux lentilles mobiles,* diamétralement opposées, tournant autour de l'appareil à feu fixe, présenteront des éclats qui se succéderont de 4 minutes en 4 minutes; chacun de ces *éclats* sera précédé et suivi d'une *éclipse de courte durée.*

De 9 heures 32 minutes à 10 heures, *trois lentilles mobiles,* tournant autour de l'appareil, présenteront des éclats de 4 minutes en 4 minutes.

De 10 heures à 10 heures 24 minutes, *quatre lentilles mobiles,* tournant autour de l'appareil à feu fixe, produiront des éclats de 3 minutes en 3 minutes.

Chaque *éclat* sera toujours précédé et suivi d'une *éclipse.*

De $9^h\,00^m$ à $9^h\,32^m$..... les 90° en 2^m — 2^m de repos.
De $9^h\,32^m$ à $10^h\,00^m$..... les 60° en 2^m — 2^m de repos.
De $10^h\,00^m$ à $10^h\,24^m$..... les 60° en 2^m — 1^m de repos.

N° XVIII (A).

EXPÉRIENCES

DES MERCREDIS 11 ET 18 MAI 1825, SUR LE PETIT APPAREIL À FEU FIXE DU 3e ORDRE DE 0m,50 DE DIAMÈTRE, MODIFIÉ PAR DES LENTILLES MOBILES, PRODUISANT DE PETITS ÉCLATS PRÉCÉDÉS ET SUIVIS CHACUN D'UNE COURTE ÉCLIPSE.

EXPÉRIENCE DU 11 MAI.

Le feu placé à Cormeilles, à trois lieues et demie marines environ de l'Observatoire, observé de ce point, paraissait très-faible. Plusieurs membres de la Commission avaient peine à le distinguer à cause de sa faiblesse, et peut-être aussi à cause des réverbères de Paris qui se trouvaient dans le voisinage de cette direction. M. de Prony, et M. Sganzin surtout, n'ont pas pu observer commodément les apparences variables que présentait le feu.

On a imité successivement les effets qui résulteraient de la révolution de trois et de quatre lentilles mobiles autour de l'appareil à feu fixe, en donnant à chaque période la durée de 2 ou de 4 minutes dans le premier cas, et de 1 minute 30 secondes ou 3 minutes dans le second. Le mouvement lent a paru préférable au mouvement rapide. M. de Rossel a remarqué avec raison que le système de quatre lentilles mobiles offrait des caractères trop semblables à ceux des feux tournants ordinaires.

EXPÉRIENCE DU 18 MAI.

L'appareil a été placé sur le mont Valérien, à [10 kil.] de l'Observatoire. Il a été observé de ce lieu par MM. Tarbé, de Rossel, Arago, Mathieu et Fresnel. Il était brillant et se distinguait parfaitement: les éclipses mêmes n'étaient pas absolues. On a imité successivement les effets qui seraient produits par la rotation de deux, trois et quatre lentilles mobiles, en donnant aux périodes la durée de 4 minutes dans

N° XVIII (A). les deux premiers cas et de 3 minutes dans le troisième. Les membres de la Commission présents n'ont pas cru nécessaire d'observer les effets de cette dernière combinaison. Des deux premières, la seconde a paru préférable, en raison de la durée suffisante des éclipses et des éclats. Chaque éclipse durait 25 secondes environ, et l'éclat intermédiaire 15 secondes, en sorte qu'il restait 2 minutes 55 secondes de feu fixe.

N° XVIII (B).

EXTRAIT

DU PROCÈS-VERBAL DE LA SÉANCE DE LA COMMISSION DES PHARES

DU 20 MAI 1825.

Présents à la séance :

MM. DE ROSSEL, SGANZIN, TARBÉ DE VAUXCLAIRS, ROLLAND, ARAGO, MATHIEU et A. FRESNEL, *secrétaire*.

. . . .

. . . . . On reprend la discussion du système général de l'éclairage des côtes de France. M. le président recueille d'abord les observations des membres de la Commission sur les deux expériences relatives aux *feux fixes à éclats*.

Il résulte de leurs observations :

1° Qu'on ne doit pas compter sur l'augmentation d'intensité de la lumière pendant l'éclat, comme moyen suffisant de distinguer ces phares des feux fixes ordinaires[a];

2° Que, dans quelques-unes des combinaisons offertes aux spectateurs par la première et surtout par la seconde expérience, la durée des éclipses est assez courte, relativement au temps pendant lequel la lumière reste fixe, pour qu'on ne puisse pas confondre ces apparences avec celles d'un feu tournant ordinaire; et que, d'une autre part, les éclipses ont assez de durée et reviennent assez souvent pour ne pas échapper à l'attention des navigateurs;

3° Enfin, que la combinaison qui paraît remplir le mieux ces di-

---

[a] Voir le dernier paragraphe de la note sur le numéro précédent XVIII (A).

N° XVIII (B). verses conditions est celle de trois lentilles cylindriques tournant autour d'un appareil dioptrique à feu fixe et faisant une révolution entière en 12 minutes.

M. Arago propose de nouveau de nommer la nouvelle espèce de phares : *feux à courtes éclipses*, en raison du peu de durée des éclipses par rapport à celle de la lumière fixe.

La Commission adopte cette dénomination.

M. de Rossel recommence l'exposition détaillée de la distribution des phares sur les côtes de France........................
....

XIX.

CARACTÈRES DISTINCTIFS DES PHARES.

N° XIX (A).

RAPPORT

SUR

LES CARACTÈRES DISTINCTIFS DE DIVERS APPAREILS D'ÉCLAIRAGE

QU'ON PROPOSE D'EMPLOYER SUR LES CÔTES DE FRANCE

DANS LE PROJET GÉNÉRAL SOUMIS À LA COMMISSION [a].

[Présenté à la Commission des phares dans sa séance du 22 avril 1825.]

On s'est conformé dans ce projet à l'opinion adoptée par la Commission, que le plus sûr moyen d'empêcher les marins de confondre entre eux les phares du premier ordre était d'employer alternativement des

[a] Le présent Rapport, fait par Fresnel, à la demande du contre-amiral de Rossel, qui avait été chargé par la Commission de la rédaction d'un *Projet général d'éclairage des côtes de France*, se retrouve en substance dans ce document capital reproduit à la suite de celui-ci sous le N° XX.

En marge de la minute autographe se lit l'apostille suivante, écrite au crayon et à moitié effacée :

« M. de Rossel a pensé que, avant qu'il exposât à la Commission le projet de « distribution des phares sur les côtes de France, il était nécessaire d'expliquer « la nature des diverses espèces de feux qu'on peut y employer. »

N° XIX (A). feux fixes et des feux tournants. L'appareil catadioptrique[a] qui a été proposé pour le phare de Chassiron, ainsi que pour les autres phares à feu fixe du premier ordre, aura toute la portée nécessaire aux besoins de la grande navigation. On estime que l'intensité de sa lumière sera au moins égale à celle de quatre cents becs de quinquet, et il n'aura pas d'angles morts, ou du moins les angles des montants, qui d'ailleurs seront très-étroits, présenteront encore une lumière de deux à trois cents becs de quinquet.

Dans le tableau ci-joint[b], on a supposé l'emploi de deux espèces de phares tournants du premier ordre, les uns composés principalement de huit lentilles verticales, les autres de seize. Il n'est pas possible de faire varier beaucoup dans les premiers la durée de la révolution, fixée à 8 minutes pour le phare de Cordouan. Cette révolution en 8 minutes donne des éclipses de 40 secondes et des apparitions de 20 secondes, à la distance moyenne de six lieues marines. Si l'on accélérait le mouvement, les éclats seraient trop courts; si on le ralentissait beaucoup, les éclipses deviendraient trop longues. L'application du gaz d'huile à l'éclairage des phares laisserait sans doute plus de latitude à cet égard, en permettant d'augmenter le volume de l'objet éclairant et d'augmenter ainsi l'étendue des éclats, ce qui diminuerait d'autant celle des éclipses. Mais on a dû, puisqu'on le pouvait, présenter un système général de feux dont l'exécution fût indépendante de l'application du gaz à l'éclairage des phares.

Les phares composés de seize lentilles verticales sont susceptibles de variations plus grandes dans la durée de leur révolution, à cause de la fréquence des éclats. Cette durée peut être aussi bien de 16 mi-

---

[a] L'appareil ainsi désigné devait en effet se composer d'une partie principale dioptrique et d'une partie accessoire catoptrique, formée de zones étagées de miroirs concaves. Toutefois l'épithète de *catadioptrique* a depuis été exclusivement appliquée par notre auteur aux appareils lenticulaires dont la partie accessoire est formée d'anneaux de verre opérant la *réflexion totale* des rayons focaux incidents.

[b] Voir le Rapport suivant de M. de Rossel sur le Système général d'éclairage des côtes de France.

nutes que de 8. Dans le premier cas, si l'on accouple seize lentilles additionnelles aux seize lentilles verticales, les apparences du phare seront presque les mêmes, à l'intensité près, que celles d'un appareil composé de huit lentilles verticales et de huit lentilles additionnelles, qui ferait sa révolution en 8 minutes; seulement les éclats seront plus longs et les éclipses plus courtes, mais ils reviendront toujours de minute en minute, comme au phare de Cordouan. Si l'on adopte la révolution de 8 minutes pour les phares à seize lentilles verticales, comme on l'a supposé dans le projet soumis à la Commission, alors les éclats reparaîtront de demi-minute en demi-minute; ce qui distinguera suffisamment ces feux tournants de ceux dans lesquels les éclats se succéderont de minute en minute. Il ne faut pas perdre de vue que ces caractères distinctifs sont ici presque surabondants, puisqu'ils sont employés pour différencier deux phares à feux tournants séparés par un feu fixe et, conséquemment, éloignés l'un de l'autre de trente ou vingt lieues marines au moins. N° XIX (A).

Dans le tableau qui est sous les yeux de la Commission, on a désigné par *feu tournant de seize lentilles* un appareil portant seize demi-lentilles verticales et faisant sa révolution en 8 minutes, de manière à donner des éclats de demi-minute en demi-minute; et par *feu tournant de huit lentilles*, un appareil composé de huit lentilles verticales et faisant sa révolution en 8 minutes, de manière à donner des éclats de minute en minute. Mais, comme nous venons de le remarquer, le phare présenterait à peu près les mêmes apparences s'il portait seize demi-lentilles verticales et faisait sa révolution en 16 minutes. Cet appareil pourra être substitué à l'autre, sans altérer le système général de différenciation des phares du premier ordre, dans les lieux où il sera plus utile d'augmenter la durée des éclats que de leur donner une grande portée, comme cela peut arriver, par exemple, sur les côtes de la Méditerranée, où les brouillards sont bien moins fréquents que le long des côtes de la Manche ou de l'Océan.

Tous les phares du premier ordre, au nombre de vingt-huit, seront éclairés chacun par une lampe portant quatre mèches concentriques et

N° XIX (A). brûlant 1 livre 1/2 d'huile par heure ou 6,000 livres par an. Ces appareils auront près de 2 mètres de diamètre.

Ceux du deuxième ordre, construits dans le même système, mais sur de plus petites dimensions, et n'ayant que 1 mètre 40 centimètres de diamètre intérieur, seront illuminés par une lampe à trois mèches, dont la consommation est de 450 grammes au plus par heure ou de 3,600 livres par an.

Enfin, les appareils du troisième ordre seront illuminés par un bec à deux mèches, qui consomme 190 grammes par heure et partant 760 kilogrammes ou 1,520 livres par an. Ils pourront avoir 50 centimètres, comme celui de Dunkerque, ou 1 mètre de diamètre, selon les besoins de la navigation. En doublant ainsi les dimensions de ces appareils, on aurait l'avantage de doubler presque l'effet qu'ils produisent, sans rien ajouter à la dépense d'huile ni aux frais d'entretien, qui seront de 2,700 francs environ et représenteront ainsi un capital de 54,000 francs. Cela nécessiterait une augmentation de 6 à 7,000 francs pour la dépense première de l'acquisition de l'appareil et de sa lanterne.

Le nombre des phares du deuxième ordre est seulement de trois d'après le projet, tandis qu'il suppose quatorze phares du troisième ordre.

Les trois phares du deuxième ordre sont caractérisés de manière que, indépendamment de leur situation particulière, ils ne puissent pas être confondus avec les phares voisins du premier ou du troisième ordre.

Les feux du troisième ordre sont tous fixes, excepté un seul, celui du cap Carteret, qui sera tournant; parce que, ces phares devant servir plus près des côtes, il devient plus nécessaire alors aux navigateurs de voir toujours le feu, ou du moins de ne le perdre de vue que pendant des instants très-courts.

Il était cependant indispensable de trouver un moyen de les différencier, soit entre eux, soit avec les phares voisins du premier ou du second ordre, que les marins auraient pu quelquefois confondre avec

les feux de troisième ordre, malgré la grande différence d'éclat et de portée. Pour cela, il suffira de faire tourner autour de ceux de ces feux fixes auxquels on voudra donner un caractère particulier un appareil portant trois petites lentilles cylindriques diamétralement opposées [équidistantes]. Elles seront semblables à celles du phare à feu fixe[a], mais auront leur courbure dirigée dans le sens horizontal, au lieu d'être courbes dans le sens vertical, comme celles-ci; en sorte que, en passant devant elles, elles produiront chacune par leur superposition un effet semblable à celui des lentilles sphériques ou annulaires, c'est-à-dire qu'elles diminueront la divergence des rayons dans le sens horizontal et les rassembleront en un cône lumineux qui donnera la sensation d'un éclat quand il passera par l'œil de l'observateur; mais il est évident que cet accroissement de lumière dans une direction ne pourra avoir lieu qu'aux dépens de celle qui éclairait les directions voisines, et qu'ainsi chaque éclat sera précédé et suivi d'une petite éclipse. N° XIX (A).

L'expérience a montré à la Commission que ce sont principalement ces courtes éclipses qui feront distinguer des feux fixes ces nouveaux phares. C'est pourquoi elle les a nommés *feux à courtes éclipses*. Ils ne pourront pas être confondus avec les feux tournants ordinaires, dans lesquels la lumière est bien moins longtemps visible, comparativement à la durée des éclipses. En effet, si l'on fait faire au système des trois lentilles mobiles sa révolution entière en 12 minutes, chaque petit éclat aura une durée de 15 secondes environ et il sera précédé et suivi d'une éclipse de 25 secondes seulement; après quoi le feu restera fixe pendant 2 minutes 55 secondes, c'est-à-dire près de 3 minutes. Ces effets seront répétés trois fois dans chaque révolution, puisqu'il y a trois lentilles mobiles, et se succéderont continuellement, en présentant toujours une lumière fixe pendant 2 minutes 55 secondes ou 2 minutes

[a] Ou plutôt *engendrées par le même profil.*

Ainsi que nous l'avons fait observer, Fresnel ne composait les zones échelonnées du tambour dioptrique fixe d'un assemblage polygonal d'éléments cylindriques, que faute de pouvoir les faire exécuter sous forme annulaire. [Voyez la note première du N° XVIII (A).]

N° XIX (A). 50 secondes au moins, suivie d'une éclipse de 25 ou 30 secondes au plus, puis d'un petit éclat de 15 ou 10 secondes, et enfin d'une éclipse de 25 ou 30 secondes; après quoi la lumière reparaîtra pendant 2 minutes 50 secondes, et ainsi de suite.

Sur les treize feux fixes du troisième ordre, on en a supposé sept à *courtes éclipses*. On propose aussi de caractériser de la même manière le feu fixe du deuxième ordre placé dans l'île de Sein, vis-à-vis du bec du Ras, pour le distinguer du feu fixe établi sur ce cap, afin que les marins reconnaissent plus facilement s'ils sont au sud ou au nord de la longue ligne d'écueils du Pont-de-Sein.

[NOTES ADDITIONNELLES.]

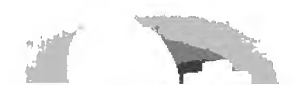
ARTICLE À INTERCALER DANS LE RÉSUMÉ.

On a appelé *feux de port*, dans le tableau ci-joint, les petits fanaux qui doivent servir seulement à indiquer l'entrée des ports. Comme il n'est pas nécessaire qu'ils soient aperçus de très-loin, on les suppose illuminés par un simple bec de quinquet placé au centre d'un petit appareil lenticulaire de 30 centimètres de diamètre intérieur. L'addition de cet appareil décuplera à peu près la lumière de la lampe, c'est-à-dire que ces fanaux équivaudront à huit ou dix becs de quinquet. On pourrait employer pour le même objet les fanaux sidéraux de M. Bordier-Marcet; mais, avec la même dépense d'huile et d'entretien, ils ne produisent que l'effet de quatre becs de quinquet[a].

On a supposé tous les feux de port fixes, sans chercher à les différencier. Lorsque les marins les apercevront, ils auront déjà reconnu

---

[a] Une étude plus approfondie des dispositions applicables aux petits fanaux lenticulaires conduisit Fresnel à imaginer, pour leur partie accessoire, un système *catadioptrique à réflexion totale*, qui offre, sous le double rapport théorique et pratique, la combinaison la plus avantageuse pour recueillir et projeter sur l'horizon les rayons focaux divergeant au-dessus et au-dessous du tambour dioptrique. (Voyez ci-après N° XXI.)



leur position au moyen des phares voisins du premier, du deuxième ou du troisième ordre, dont la portée sera bien supérieure, et sauront dans quel port ils vont entrer. N° XIX (A).

Nota. Ajouter quelques mots sur les nouvelles combinaisons catoptriques que j'ai imaginées pour la partie additionnelle des phares tournants, rodage des glaces cylindriques, perfectionnement des lentilles annulaires.....................

N° XIX (B).

EXTRAIT

DU PROCÈS-VERBAL DE LA SÉANCE DE LA COMMISSION DES PHARES

DU 22 AVRIL 1825.

Présents à la séance :

MM. Becquey, *Directeur général, Président*; Halgan, de Rossel, Tarbé, Sganzin, Arago, Mathieu et A. Fresnel, *secrétaire*.

. . . .

. . . . . D'après l'invitation de M. de Rossel, M. Fresnel expose à la Commission, par un rapport écrit, la nature des divers appareils d'éclairage qu'on peut employer dans les phares de différents ordres ou de différentes portées, et les caractères particuliers qui serviront à distinguer entre eux les feux du même ordre.

M. Arago exprime la crainte que les phares désignés par le nom de *feux fixes à éclats* ne présentent des apparences trop semblables à celles qui résultent des effets de la scintillation et qu'ils ne soient ainsi confondus souvent par les marins avec les feux fixes ordinaires dont ils se trouveront voisins.

M. Fresnel répond qu'on pourra toujours donner aux éclats et aux petites éclipses qui les accompagnent la durée la plus propre à bien caractériser ces feux.

La Commission juge que cette question ne peut être complétement décidée que par une expérience.

M. de Rossel expose en détail les motifs et les considérations qui l'ont guidé dans la distribution générale des phares sur les côtes de France, dont il présente le tableau à la Commission . . . .

. . . .

Tout en approuvant le système général de l'éclairage des côtes qui lui est présenté, la Commission désire l'examiner encore dans sa prochaine séance avant de l'adopter définitivement, à cause de l'absence de plusieurs membres et de la nécessité de s'assurer auparavant par l'expérience si le mode de différenciation proposé pour les *feux à éclats* ne peut donner lieu à aucune méprise.......................... N° XIX (B).

....

XX.

SYSTÈME GÉNÉRAL D'ÉCLAIRAGE DES CÔTES DE FRANCE.

N° XX (A).

RAPPORT

CONTENANT L'EXPOSITION DU SYSTÈME

ADOPTÉ PAR LA COMMISSION DES PHARES

POUR ÉCLAIRER LES CÔTES DE FRANCE [*],

[PAR LE CONTRE-AMIRAL DE ROSSEL].

La Commission des phares, dans sa séance du 20 mai 1825, après avoir examiné le projet présenté par M. de Rossel pour la distribution et l'emplacement des feux destinés à guider, pendant la nuit, les navigateurs qui s'approchent des côtes de France, a revêtu ce projet de son approbation, et a demandé que les développements qui venaient de lui être donnés pour justifier la combinaison des divers feux proposés et le choix des lieux où ils devaient être placés fussent consignés dans un rapport qui contînt l'ensemble du système et la discussion de toutes ses parties. M. de Rossel, chargé de ce travail, s'est

[*] Les éditeurs ont cru devoir comprendre le présent Rapport dans leur publication, par cette double considération, qu'il offre l'exposé général du nouveau système de phares, et que Fresnel a concouru à la rédaction de l'un des plus importants chapitres, celui qui concerne les caractères distinctifs des feux. (Voyez le numéro précédent.)

N° XX (A). concerté avec M. Fresnel, et, en profitant des avis qui lui ont été donnés dans cette séance, il a rédigé le Rapport suivant, qu'il a l'honneur de soumettre à la Commission pour remplir ses intentions.

§ Ier.

CONDITIONS À REMPLIR.

Les différents phares ou feux disséminés sur toute l'étendue d'une côte doivent remplir divers objets dépendant de la position des vaisseaux et principalement de la route qu'ils se proposent de tenir. Les navigateurs qui ont eu connaissance de terre avant la nuit, et ne jugent pas à propos d'entrer pendant l'obscurité dans le port ou dans la rade qu'ils viennent chercher, s'en servent pour se maintenir, tant qu'un des phares est en vue, dans une position qui leur permette de prendre, à la pointe du jour, une direction qui les conduise promptement au lieu de leur destination. Les vaisseaux qui suivent la côte en se tenant à une distance de terre suffisante pour les mettre à l'abri de tout danger reconnaissent, au moyen des phares, à tous les instants de la nuit, le lieu où ils sont et la route qu'ils ont à suivre pour éviter les écueils situés au large. Ces phares doivent être placés sur les caps les plus saillants et les pointes les plus avancées; ils doivent aussi être, les uns par rapport aux autres, à des distances telles, que, lorsque dans les temps ordinaires on commence à perdre de vue le phare dont on s'éloigne, il soit possible de voir celui dont on se rapproche. Les phares dont on vient de parler, destinés à donner des indications aux vaisseaux qui viennent du large ou à ceux qui prolongent la côte, doivent être vus de très-loin et leurs feux être de la plus grande portée possible. C'est ce qui leur a fait donner, dans le système général, la dénomination de *phares du premier ordre*. Il faut, en conséquence, les tenir assez élevés et leur donner le plus grand éclat que nous puissions produire dans l'état actuel de nos connaissances.

Ces phares du premier ordre sont encore destinés à un autre usage, qui n'est pas d'une moindre importance, puisque des indications qu'ils procurent dépend quelquefois le salut des vaisseaux : en effet, dans le cas où la force du vent les pousserait sur la côte, ou bien dans celui où, pour échapper à des forces supérieures, ils seraient obligés de venir chercher un port et d'y entrer pendant la nuit, ce sont ces feux qui leur font reconnaître d'abord le point où

ils se trouvent et leur donnent ensuite la première indication sur la route qu'ils doivent suivre pour entrer avec sécurité dans la rade et même dans le port où ils veulent aller. On sent, d'après ce qui vient d'être dit, de quelle importance il est que des vaisseaux avertis seulement des approches de la côte par la vue de l'un des phares disséminés sur toute son étendue ne puissent jamais être exposés à se tromper et à prendre le feu qu'ils aperçoivent pour l'un des feux voisins. C'est ce qui a mis dans la nécessité de diversifier, autant que la nature des choses a pu le permettre, les apparences présentées par les phares. Jusqu'à présent, le nombre de ces apparences est très-limité; heureusement que l'erreur dont la position d'un vaisseau venant du large peut être affectée a également des limites, et qu'il a suffi de répartir les phares sur toute la côte de manière que, dans l'étendue fixée par la plus grande erreur dont la position d'un vaisseau soit susceptible, il ne se trouve jamais deux phares offrant exactement la même apparence. C'est une règle dont on ne s'est écarté, dans le système général approuvé par la Commission, que dans le cas où deux feux semblables, placés l'un auprès de l'autre, acquièrent ainsi un caractère particulier qui ne laisse plus craindre de méprise. N° XX (A).

On a dit précédemment que les phares du premier ordre, après avoir fait connaître le point où l'on se trouve, donnaient ensuite aux vaisseaux qui se rapprochent de la côte les premières notions de la route à suivre pour se rendre au lieu de leur destination, c'est-à-dire pour entrer dans les passes plus ou moins étroites qui y conduisent, ou bien pour éviter les écueils qui se trouvent sur leur route. Des feux d'une moindre intensité que les premiers sont placés sur des îles, des écueils situés entre les grands phares et la côte, ou sur d'autres parties de la côte elle-même, de manière à indiquer la route qu'il faut tenir pour pénétrer dans ces passes ou éviter ces écueils, en allant successivement prendre connaissance de chacun d'eux. Leur portée est déterminée par la distance à laquelle on doit commencer à se diriger d'après chacun de ces feux : elle doit, en général, être beaucoup moindre que celle des feux de premier ordre; cependant, comme dans certaines circonstances il a été indispensable de lui donner une assez grande étendue, on s'est trouvé dans l'obligation d'établir deux ordres différents dans ces phares ou feux secondaires. Les phares du deuxième ordre sont ceux de la plus grande portée, et les phares du troisième ordre ceux qui se voient de moins loin.

Enfin la Commission, désirant satisfaire à tous les besoins de la navigation,

N° XX (A). a décidé que des lumières seraient entretenues pendant la nuit à l'entrée des ports, pour guider les bâtiments près des jetées qui en forment l'entrée et servent d'abri, ou dans les passes étroites où ils sont obligés de s'engager. Ces derniers feux, beaucoup moins brillants que les premiers et par conséquent beaucoup moins dispendieux, sont compris sous la dénomination de *feux de ports* et n'ont d'autre usage que d'indiquer l'entrée de ces ports aux bateaux pêcheurs et même aux bâtiments d'un plus grand tirant d'eau, toutes les fois que les localités le permettent. La majeure partie des petits ports situés sur les côtes de l'Océan, où les marées sont très-grandes, ne peuvent recevoir les navires qu'à certaines époques de la marée, c'est-à-dire que l'on ne peut pas y entrer, pendant le flot, avant que la mer soit parvenue à une certaine hauteur, et qu'il ne reste plus assez d'eau dans les passes après une certaine heure de jusant. Les feux de ports servent à donner ces indications très-essentielles. Ils ne sont allumés, dans plusieurs lieux, que pendant le temps où il reste assez d'eau entre les jetées. La Commission a décidé que des feux de cette espèce, qui ne peuvent être confondus avec aucun des phares de l'un des trois ordres adoptés, seraient allumés à l'entrée de tous les ports, même les plus petits: mais elle devra choisir ensuite le mode d'indications le plus sûr pour faire connaître les instants de la marée où il y a assez d'eau dans les passes et ceux où il est impossible de s'y engager. A cet égard, il y aura sans doute de l'avantage à se conformer aux usages établis, toutes les fois que ces usages ne paraîtront pas défectueux, à moins que le système nouvellement adopté ne fournisse des indications plus claires et, dans certaines circonstances, plus étendues. Il sera question de quelques-uns des moyens qui, dans l'état actuel des choses, pourraient être employés avec avantage, lorsqu'on parlera de l'emplacement, de l'apparence et de l'usage de chacun des feux que la Commission propose d'entretenir sur les côtes de France. Mais il est essentiel de rappeler qu'il sera prudent de ne rien décider à l'égard de ces nouveaux moyens, avant d'avoir consulté les marins des divers ports où l'on se proposera de les mettre en usage.

§ II.

MOYENS EMPLOYÉS POUR ÉCLAIRER LES PHARES ET VARIER LEURS APPARENCES.

Il vient d'être question des différentes conditions à remplir pour compléter le système d'après lequel toutes les côtes de France doivent être éclairées.



si l'on veut assurer pendant la nuit la navigation des navires et des vaisseaux qui fréquentent nos ports et les soustraire, autant que l'état de nos connaissances le permet, aux dangers qu'ils ont à courir pendant le mauvais temps et les longues nuits d'hiver. N° XX (A).

Les marins avaient depuis longtemps reconnu les besoins de la navigation: plusieurs projets avaient été proposés relativement à la répartition de phares et de feux sur toute l'étendue des côtes de France, principalement sur celles de l'Océan; car il paraît qu'à l'égard des côtes de la Méditerranée, on ne s'était pas occupé d'établir un système général; on s'était contenté d'indiquer quelques lieux particuliers sur lesquels des feux avaient été allumés, et encore ces feux n'étaient-ils pas placés de manière à assurer la navigation des ports les plus fréquentés, tels que Toulon, l'un des arsenaux les plus importants de la marine royale, et Marseille, ville si considérable par l'étendue de son commerce.

L'exécution des différents systèmes proposés pour éclairer les côtes de l'Océan a souffert pendant longtemps de grandes difficultés; d'abord, parce qu'on n'avait pas à sa disposition des moyens simples et peu dispendieux de produire des masses de lumière assez intenses pour atteindre à la distance que certaines configurations de la côte rendaient indispensable d'éclairer avec un seul phare, mais surtout parce que les moyens alors connus ne permettaient pas de varier les apparences de la lumière et de remplir, ainsi qu'on vient de le dire, une des conditions les plus essentielles, toutes les fois que l'on veut qu'une côte soit éclairée, sans interruption, dans toute son étendue.

Le chevalier de Borda, capitaine de vaisseau, dont le nom est aussi respecté par les marins de toutes les classes que par le monde savant, est parvenu, en plaçant une lampe d'Argant au foyer d'un grand miroir parabolique argenté, à donner à la lumière un degré d'intensité qui lui a procuré toute la portée désirable, du moins dans la direction de l'axe du réflecteur [a]. La pre-

---

[a] Quelque temps avant que Borda eût été appelé par le ministre de la marine à s'occuper de l'amélioration du phare de Cordouan, l'ingénieur Teulère avait proposé de l'illuminer au moyen de grands réverbères paraboliques. Les effets de cette espèce d'appareils avaient d'ailleurs été rationnellement appréciés par Lavoisier dans le mémoire qu'il présenta au concours ouvert en 1765, par M. de Sartines, pour l'éclairage des rues de Paris. (Voyez l'*Introduction*.)

N° XX (A). mière application qui ait été faite de ce moyen puissant d'augmenter la lumière d'un simple bec de lampe a eu lieu sur la tour de Cordouan. On sait que ces miroirs ne jouissent d'un si grand avantage que par la propriété qu'ils ont de répéter, sur tous les points de leur surface, le point lumineux placé au foyer de la parabole génératrice et d'en former un faisceau de lumière qui se propage directement jusqu'à une grande distance, mais qui n'éclaire qu'une très-petite portion du cercle de l'horizon. C'est en fixant autour d'un même axe vertical plusieurs becs d'Argant placés au foyer de miroirs dirigés dans différents sens, et en faisant tourner l'axe qui les supporte, à l'aide d'une machine de rotation, que l'on est parvenu à éclairer successivement tous les points de l'horizon. Il en résulte que l'observateur ne voit la lumière des phares ainsi éclairés que pendant le temps qu'un des faisceaux de lumière, renvoyé par chaque miroir parabolique, met à passer devant ses yeux, et qu'il la perd de vue lorsqu'il se trouve entre deux de ces faisceaux ou dans l'angle qu'ils forment entre eux. Cette alternative d'éclats de lumière suivis d'obscurité leur a fait donner le nom de *phares à éclipses*. Ils remplissent complétement leur destination, si on les considère isolément; mais du moment qu'il s'agit de les faire entrer dans un système général et que l'on cherche par conséquent à varier leurs apparences, on ne tarde pas à rencontrer des difficultés presque insurmontables ou du moins qui ont paru telles jusqu'à présent.

La première idée qui se soit présentée a été de varier la durée des éclipses. On a senti qu'il était impossible de songer à raccourcir cette durée, en précipitant le mouvement de rotation du phare, parce qu'on aurait raccourci dans la même proportion celle des éclats de lumière, qu'il importait au contraire de prolonger le plus possible. Le seul moyen dont on pût disposer était de multiplier les lampes autour de l'axe de rotation; mais les grands miroirs paraboliques sont si pesants, que, dans la crainte de le trop surcharger, on n'a pas voulu placer plus de huit réverbères de grandes dimensions sur un même axe. Il eût fallu leur donner des dimensions plus petites, pour pouvoir en augmenter le nombre sans inconvénients; mais alors la lumière aurait eu moins de portée, et ces phares n'auraient plus eu l'éclat qu'il était nécessaire de donner aux phares du premier ordre. Enfin, tant qu'on voulait s'astreindre à conserver à la lumière une grande intensité et des apparitions assez prolongées pour fixer l'attention à la première vue, on ne pouvait pas se flatter d'établir des différences assez sensibles entre les durées des éclipses pour en

former des phares d'apparences très-distinctes et telles qu'elles ne pussent jamais exposer les navigateurs à commettre des erreurs funestes.

On conçoit facilement, d'après ce qui vient d'être dit des miroirs paraboliques, que ces miroirs ne peuvent entrer dans la construction des phares à feux fixes, destinés à être vus dans toutes les directions. Il eût fallu tellement multiplier les miroirs et diminuer leurs dimensions, qu'ils eussent à peine produit l'effet que l'on doit attendre des phares du troisième ordre. On était donc privé de l'avantage inappréciable d'établir des feux fixes du premier ordre ou d'une très-grande portée.

Les effets des miroirs paraboliques, si supérieurs à ceux des anciens phares, ne se prêtaient donc pas facilement à toutes les modifications qu'il était nécessaire de faire subir à la lumière. Ces miroirs métalliques avaient en outre l'inconvénient d'être sujets à se ternir et à perdre aisément leur poli primitif: on devait donc s'attendre qu'au bout d'un certain temps, l'intensité de la lumière et par conséquent leur portée seraient sensiblement diminuées. La Commission des phares a cherché pendant longtemps à surmonter les obstacles qui ralentissaient la marche de ses travaux; mais, tant qu'elle n'a eu à sa disposition que les moyens connus avant sa formation, il lui a été impossible de présenter un système qui fût de nature à satisfaire à tous les besoins de la navigation. Il fallait que de nouveaux moyens fussent trouvés pour qu'elle pût se flatter d'obtenir un si grand avantage.

M. le directeur général des ponts et chaussées, sans cesse occupé de l'amélioration de tous les objets de son administration qui intéressent le bien public, avait suivi avec une attention particulière les travaux de la Commission des phares. Il avait pris connaissance des difficultés qui ralentissaient leur marche, et ne tarda pas à s'apercevoir qu'il fallait qu'un homme ayant des connaissances supérieures et pouvant donner tout son temps à ces recherches fût adjoint à la Commission pour l'aider à lever les difficultés qui l'arrêtaient. Les belles découvertes que M. Fresnel, ingénieur des ponts et chaussées, avait faites sur la théorie des propriétés physiques de la lumière l'appelaient naturellement à remplir une tâche de cette importance; il fut désigné par M. Arago et choisi par M. le directeur général pour faire partie de la Commission des phares. Un moyen des plus ingénieux, et qui dans ses mains est devenu d'une fécondité extraordinaire, lui a donné dès le début la faculté de surmonter tous les obstacles. Au lieu de concentrer les rayons lumineux par réflexion, avec des

N° XX (A). miroirs paraboliques, il imagina de les concentrer par réfraction avec de grandes lentilles à échelons. Les difficultés de la construction de ces lentilles avaient jusqu'à présent rendu stérile l'invention de l'illustre Buffon, qui, le premier, avait proposé de donner cette forme aux verres ardents pour en augmenter la puissance; cette heureuse idée était même presque tombée dans l'oubli. M. Fresnel n'apprit qu'elle appartenait à Buffon que lorsqu'il annonça à l'Académie des sciences qu'il avait inventé des machines, fait établir un atelier et instruit des ouvriers pour construire des lentilles à échelons de plusieurs morceaux. Mais il apprit en même temps que ce célèbre naturaliste n'avait jamais réussi à réaliser son idée, parce qu'il avait voulu faire tailler ses lentilles dans une seule pièce de verre. C'est M. Soleil, opticien, qui a construit jusqu'à présent, sous la direction de M. Fresnel, toutes les lentilles des feux tournants et les verres des feux fixes.

MM. Arago et Fresnel, réunis, ont porté à un haut degré de perfection la construction des lampes à flammes concentriques, par l'heureuse combinaison de l'idée de Rumford [a] avec l'invention ingénieuse de Carcel. Ces lampes présentent un foyer de lumière supérieur à tout ce qu'on avait obtenu jusqu'à présent et dont l'intensité comme le volume varient à volonté, en raison du nombre de mèches qu'on emploie. Cette accumulation de lumière dans un seul foyer était nécessaire pour donner aux appareils dioptriques de M. Fresnel tout l'éclat dont ils pouvaient être susceptibles. Ceux-ci ont à leur tour prodigieusement accru l'intensité de la lumière placée à leur centre, puisqu'une lentille à échelons de $0^m,75$ en carré, illuminée par une lampe à quatre mèches équivalant à vingt-deux becs d'Argant, produit dans la direction de son axe le même effet que quatre mille becs d'Argant réunis. Les appareils lenticulaires ont, en outre, sur les miroirs paraboliques, l'avantage de se prêter, ainsi qu'on le verra bientôt, à des combinaisons qui permettent de varier les apparences des phares autant que l'exigent les besoins de la navigation. L'air de la mer n'en attaque pas le poli; il suffit de les épousseter et de les nettoyer de temps en temps pour qu'ils conservent leur transparence et présentent toujours le même éclat.

C'est aux recherches de ces deux savants distingués que la Commission doit

---

[a] Ou plutôt de Guyton de Morveau. (Voyez les *Annales de chimie*, 1re série, t. XXIV, p. 312.)

les moyens d'éclairage les plus complets et les plus satisfaisants dont on ait fait usage jusqu'à présent. Le succès a passé les premières espérances, tant à l'égard de la variéte des feux que par rapport à leur intensité; et la Commission n'a plus eu qu'à choisir, entre plusieurs combinaisons également ingénieuses, celles qui lui ont paru les plus propres à remplir l'objet qu'elle devait se proposer. N° XX (A).

En faisant tourner autour d'un grand foyer de lumière, et avec une vitesse uniforme, huit lentilles ou seize demi-lentilles symétriquement arrangées, on a produit alternativement des éclats et des éclipses qui se répètent de minute en minute ou bien de demi-minute en demi-minute. De même, en ramenant à la ligne horizontale, au moyen d'un appareil taillé dans les mêmes principes, les rayons qui passent au-dessus et au-dessous de cette ligne, on a produit des feux fixes, c'est-à-dire des feux qui n'éprouvent aucune intermittence et présentent à la fois, dans toutes les directions, une lumière uniforme et d'une intensité soutenue. C'est à ces derniers, qu'on ne peut obtenir avec des réflecteurs, qu'est dû le caractère distinctif le plus tranché et le moyen de différencier les feux le plus à l'abri des objections. Il est facile de pressentir que l'appareil lenticulaire est susceptible d'un bien plus grand nombre de modifications différentes; mais celles dont on vient de parler sont les principales et celles que la Commission a adoptées dans le système général. La multiplicité des besoins a cependant mis dans la nécessité d'employer encore une autre modification qui tient à l'application d'un appareil mobile à un feu fixe, pour produire des éclipses très-courtes après de longs intervalles de lumière uniforme; elle n'est mise en usage qu'à l'égard des phares de second et de troisième ordre : il en sera question plus bas, dans la description de chaque espèce de feu.

Mais avant d'entrer dans les détails de la description et de l'emplacement de chacun des phares et autres feux en particulier, il convient de faire connaître l'intensité et par conséquent la portée de chacune des masses de lumière que l'on se propose de produire, ainsi que les divers moyens qui servent à différencier leurs apparences. Ces premiers éléments sont indispensables pour que l'on puisse juger si les phares doivent être plus ou moins éloignés les uns des autres, si la place qui leur a été assignée dans le système général remplit toutes les conditions nécessaires et est exempte d'inconvénients de nature à compromettre la sûreté des vaisseaux.

N° XX (A). On doit se rappeler que les besoins de la navigation exigent qu'il existe trois espèces de phares, désignés par les dénominations de phares du *premier*, du *second* et du *troisième ordre*, dont les degrés d'intensité et la portée vont en diminuant, depuis le phare du premier ordre, qui est le plus éclatant, jusqu'au troisième ordre, dont la lumière s'étend à la moindre distance. Enfin on est obligé d'employer des feux beaucoup moins intenses que ceux-ci et d'un entretien beaucoup moins dispendieux, pour marquer l'entrée de tous les ports, même de ceux qui ne sont fréquentés que par de très-petits bateaux. La description de ces quatre espèces de feux va être donnée séparément, et l'on fera connaître en détail les moyens que la Commission a adoptés, tant pour les produire que pour différencier entre eux les phares d'un même ordre.

PHARES DU PREMIER ORDRE.

Tous les phares du premier ordre doivent être éclairés par une lampe à pompe et à quatre mèches concentriques.

Ces lampes brûleront 1 livre 1/2 d'huile par heure ou 6,000 livres par an.

L'appareil lenticulaire aura près de 2 mètres de diamètre intérieur.

MOYENS DE DIVERSIFIER L'APPARENCE (*).

Feu tournant à huit lentilles.

1° Huit lentilles d'égales grandeurs, formant un prisme vertical régulier, seront placées de manière que le centre de la lumière ou de la lampe se trouve à leur foyer commun. Ces huit lentilles, à l'aide d'une machine de rotation, tourneront autour de la lampe avec une vitesse propre à leur faire parcourir la circonférence entière en 8 minutes; de sorte que les rayons lumineux rassemblés par chaque lentille se dirigeront, de minute en minute, sur un même observateur. Des expériences répétées ont fait connaître qu'à la distance moyenne de 6 lieues marines, la durée des apparitions de la lumière serait de 20 secondes et qu'elle serait suivie d'une éclipse de 40 secondes. Si l'on était plus éloigné du phare, les apparitions seraient un peu plus courtes et les éclipses de la même quantité plus longues. Ce serait le contraire si l'on s'en

(*) Voyez le numéro précédent.

rapprochait, cependant sans que la durée des éclats reçût une augmentation très-considérable. Lorsqu'on en sera à une petite distance, on ne perdra jamais de vue la lumière réfléchie par un appareil subsidiaire dont l'objet est de ramener vers l'horizon les rayons qui passent au-dessous des lentilles : cette lumière fixe, beaucoup moins brillante que les éclats, n'ôte pas au phare le caractère de feu tournant, comme on s'en est assuré à Cordouan.

Ce phare tournant composé de huit lentilles est celui qui a le plus d'intensité et porte le plus loin. On estime que sa lumière, à l'instant de son maximum, équivaut à celle de quatre mille becs d'Argant. Elle est précédée et suivie par une lumière moins forte, qui diminue graduellement de part et d'autre du maximum, mais beaucoup plus vite dans la seconde partie de l'éclat que dans la première. Ces éclats pourront être aperçus jusqu'à 11 ou 12 lieues marines, dans les temps ordinaires; mais, à une aussi grande distance, on ne verra que la partie la plus brillante de l'éclat, dont l'apparition ne durera guère que 4 à 5 secondes.

Feu tournant à seize demi-lentilles

2° Les lentilles du feu tournant à seize demi-lentilles forment, comme dans le phare précédent, un prisme régulier. La lampe à quatre mèches est au foyer commun de ces lentilles; elles achèvent leur tour également en 8 minutes : il en résulte cette différence que les éclats, au lieu de paraître de minute en minute, sont deux fois plus fréquents et se succèdent de demi-minute en demi-minute. Ils ne seront pas tout à fait si longs : on estime cependant que, à la distance de 6 lieues, leur durée sera encore de 15 secondes; en sorte que, à cette distance, le temps de l'apparition de la lumière sera égal à celui des éclipses. Ce phare, comme le précédent, peut être muni d'un appareil subsidiaire, qui réfléchit les rayons plongeants : dès lors on ne le perdra plus de vue à 2 ou 3 lieues de distance; mais on distinguera aisément de la petite lumière fixe les éclats beaucoup plus brillants produits par les lentilles.

Ces demi-lentilles ont la même hauteur que les lentilles de l'appareil précédent et la moitié moins de largeur; leur surface est, par conséquent, réduite de moitié : cependant, comme dans celles-ci on n'a employé que la partie la plus utile des lentilles entières, qui est le milieu, la lumière qu'elles produisent n'est pas diminuée dans la même proportion. On estime qu'elle équivaut encore à celle de deux mille quatre cents becs d'Argant, à l'instant du maximum, et que, dans les temps ordinaires, elle pourra être aperçue à 9 lieues de distance.

N° XX (A).
Feu fixe.

3° L'appareil des feux fixes, comme celui des feux tournants, enveloppe presque en entier la lampe à quatre mèches. Les lentilles et les miroirs qui composent cette enveloppe sont taillés et disposés de manière à ramener vers l'horizon tous les rayons de lumière qui s'élèvent au-dessus ainsi que ceux qui s'abaissent au-dessous, sans altérer d'ailleurs leur divergence dans ce plan horizontal; en sorte que le phare éclaire tout le tour de l'horizon et offre l'aspect d'un feu fixe dans toutes les directions.

Ces feux fixes sont ceux qui ont le moins d'intensité. Leur lumière peut être évaluée d'avance à quatre cents becs d'Argant, et leur portée à 7 ou 8 lieues dans les circonstances ordinaires.

Si cette portée ne diffère que de 4 lieues de celle des grandes lentilles, dont la lumière, dans le maximum, a dix fois plus de force, il faut l'attribuer à ce que le plus grand éclat des lentilles ne frappe la vue qu'un seul instant et produit dans l'œil une sensation trop fugitive pour que son effet soit proportionné à l'intensité de la lumière.

Le temps de la révolution des phares tournants a été jusqu'à présent supposé de 8 minutes : il est à remarquer qu'il ne serait pas possible de faire varier beaucoup la durée de la révolution des phares à huit lentilles; car, si l'on accélérait le mouvement, les éclats de lumière deviendraient trop courts, et si on le ralentissait beaucoup, les éclipses seraient trop longues.

La durée des révolutions des phares composés de seize demi-lentilles est susceptible de variations plus grandes, à cause de la fréquence des éclats : néanmoins il y aurait, comme dans les phares précédents et par les mêmes raisons, de l'inconvénient à diminuer cette durée et à accélérer la vitesse; mais il serait possible de ralentir le mouvement et de porter le temps de chaque révolution jusqu'à 16 minutes : alors cette seconde espèce de phare offrirait presque la même apparence qu'un phare à huit grandes lentilles; seulement les éclats seraient plus longs, les éclipses plus courtes, et l'intensité de la lumière serait moins grande. Ainsi, ils auraient, sur les phares composés de huit lentilles, un genre de supériorité auquel les marins attachent beaucoup d'importance, celui de la durée des éclats; mais l'intensité serait diminuée à peu près dans la même proportion, et la portée serait réduite de 11 ou 12 lieues à 9.

On ne peut pas terminer ce qu'il y avait à dire sur les phares du premier ordre, sans parler des avantages que l'on obtiendrait en les éclairant avec du

gaz d'huile. Le volume de l'objet éclairant pourrait être augmenté, et l'on parviendrait ainsi à augmenter la durée des éclats de lumière, ce qui diminuerait d'autant celle des éclipses. Cette amélioration pourra être adoptée par la suite, sans rien changer au système général : la seule différence qui en résultera est que les éclats de tous les phares tournants seront plus longs et les éclipses plus courtes; mais les marins doivent être prévenus que le caractère invariable de chaque espèce de feux tournants est l'intervalle qui s'écoule depuis la fin d'un éclat jusqu'à la fin de l'éclat suivant, et non pas la durée absolue des éclats ou des éclipses, qui change selon la distance ou l'état de l'atmosphère. Quant aux feux fixes, l'emploi du gaz augmentera leur intensité; c'est la seule amélioration dont ils soient susceptibles, et il ne faut pas la négliger, car ce sont les moins puissants. N° XX (A).

PHARES DU SECOND ORDRE.

Tous les phares du second ordre doivent être éclairés par une lampe à pompe et à trois mèches concentriques.

Ils consomment 450 grammes d'huile par heure et, par conséquent, 1,800 kilogrammes ou 3,600 livres par an.

L'appareil lenticulaire aura $1^{m},40$ de diamètre intérieur.

Les phares du second ordre sont construits d'après les mêmes principes que ceux du premier; mais la masse de lumière qui les éclaire est moins forte, et les dimensions des lentilles et de l'appareil sont moins grandes. Le nombre de ces phares employé dans le système général n'est que de cinq.

Ces appareils sont susceptibles de combinaisons aussi variées que les feux du premier ordre; mais ils sont en si petit nombre, qu'il a été inutile d'avoir recours à toutes les différentes apparences employées pour diversifier les grands feux. La Commission n'a admis dans le second ordre que des feux tournants à seize demi-lentilles; ce sont ceux du cap Carteret, de la pointe Saint-Matthieu et du Four de Guérande. Quant au feu fixe de l'île de Sein, elle a jugé convenable de le modifier par de courtes éclipses. Il a suffi, pour donner ce caractère particulier à un feu fixe, de faire tourner autour un appareil portant trois petites lentilles cylindriques équidistantes. Elles seront semblables à celles du phare à feu fixe, mais elles auront leur courbure dirigée dans le sens horizontal, au lieu d'être courbes dans le sens vertical, comme celles-ci; en sorte qu'en passant

N° XX (A). devant les lentilles du feu fixe, elles produiront chacune, par leur superposition, un effet semblable à celui des lentilles sphériques ou annulaires, c'est-à-dire qu'elles diminueront la divergence des rayons dans le sens horizontal et les rassembleront en un cône lumineux qui donnera la sensation d'un petit éclat quand il passera par l'œil de l'observateur ; mais il est évident que cet accroissement de lumière dans une direction ne pourra avoir lieu qu'aux dépens de celle qui éclairerait les directions voisines, et qu'ainsi chaque éclat sera précédé ou suivi d'une petite éclipse. Le phare du Pilier présentera ces mêmes apparences.

L'expérience a montré à la Commission que ce sont principalement ces courtes éclipses, et non les éclats, qui feront distinguer ces feux des autres feux fixes; c'est pourquoi elle les a nommés *feux à courtes éclipses*. Ils ne pourront être confondus avec les feux tournants ordinaires, dans lesquels la lumière est bien moins longtemps visible, comparativement à la durée des éclipses. En effet, si l'on fait faire au système des trois lentilles mobiles sa révolution entière en 12 minutes, chaque petit éclat aura une durée de 15 secondes environ et sera précédé et suivi d'une éclipse de 25 secondes seulement; après quoi le feu restera fixe pendant 2 minutes 55 secondes, c'est-à-dire près de 3 minutes. Ces effets seront répétés trois fois à chaque révolution, puisqu'il y a trois lentilles mobiles, et se succéderont de la même manière dans toutes les révolutions suivantes.

La portée moyenne des phares à feu fixe du second ordre sera de 6 lieues ou 6 lieues 1/2; celle des feux tournants composés de seize demi-lentilles sera probablement plus forte d'une lieue, c'est-à-dire égale à 7 lieues ou 7 lieues 1/2.

PHARES DU TROISIÈME ORDRE.

Les phares du troisième ordre seront éclairés par une lampe à pompe et à deux mèches concentriques.

La consommation d'huile sera de 190 grammes par heure et, partant, de 760 kilogrammes ou 1,520 livres par an.

L'appareil lenticulaire pourra avoir 50 centimètres de diamètre intérieur ou 1 mètre, selon les besoins de la navigation.

La seconde dimension a l'avantage de doubler presque l'effet produit, sans rien ajouter à la consommation d'huile ni aux frais d'entretien; elle occasion-

nerait seulement une augmentation de 6,000 ou 7,000 francs dans la dépense première de l'acquisition de l'appareil et de la lanterne. Les appareils d'un mètre de largeur seront employés toutes les fois que l'on croira devoir augmenter la portée d'un phare du troisième ordre, sans qu'il soit nécessaire d'atteindre à celle d'un phare du second. N° XX (A).

Les phares du troisième ordre, comme ceux du second, seraient susceptibles d'offrir les mêmes apparences que les grands phares, au moyen d'appareils semblables, mais plus petits. On a jugé superflu d'admettre dans les premiers autant de diversité : ce sont tous des feux fixes ou des feux à courtes éclipses.

Les feux du troisième ordre étant destinés à diriger les bâtiments qui naviguent près de terre et dans des passes plus ou moins étroites, il est nécessaire que les navigateurs puissent les voir continuellement, ou du moins qu'ils ne soient exposés à les perdre de vue que pendant des instants très-courts. C'est pourquoi la Commission a multiplié les feux fixes du troisième ordre autant qu'elle a pu; elle n'y a substitué des feux à courtes éclipses que dans le cas où les localités obligeaient d'établir des différences entre des feux assez voisins les uns des autres pour occasionner des méprises. Non-seulement elle a eu l'attention, en fixant son choix, de varier les apparences des feux du troisième ordre, mais encore elle a voulu que ces apparences différassent de celles des phares du premier et du second ordre les plus rapprochés. Il est à propos de rappeler, à ce sujet, que les phares du second ordre sont aussi caractérisés de manière que, indépendamment de leur situation particulière, ils ne puissent de loin être confondus avec les phares voisins du premier et du troisième ordre.

Les feux fixes du troisième ordre qui auront 1 mètre de diamètre pourront être aperçus, même dans des circonstances défavorables, jusqu'à 5 lieues marines de distance.

Quant aux phares dont l'appareil n'aura que 50 centimètres de diamètre intérieur, leur portée moyenne ne doit être évaluée qu'à 4 lieues ou 4 lieues 1/2. Cependant un appareil semblable récemment établi à Dunkerque a été vu, d'après les récits des navigateurs de ce port, jusqu'à 6 lieues au large; mais les circonstances étaient probablement plus favorables qu'elles ne le sont ordinairement.

La lumière des appareils tournants de 1 mètre de diamètre intérieur et

N° XX (A). composés de huit lentilles serait visible jusqu'à la distance de 6 lieues marines.

FEUX DE PORT.

Les feux de port consistent en un simple bec d'Argant, alimenté par une pompe ou un réservoir ordinaire, et placé au centre d'un petit appareil lenticulaire à feu fixe, ayant 30 centimètres de diamètre intérieur. Ces fanaux équivaudront à huit ou dix becs d'Argant [a].

La consommation sera de 40 grammes d'huile par heure ou 320 livres par an.

Cette dernière espèce de feux n'a pas d'autre destination que celle d'indiquer l'entrée des ports ou l'extrémité des jetées derrière lesquelles on peut venir se mettre à l'abri. Il n'est pas nécessaire qu'ils soient vus de très-loin : la portée de 2 lieues marines à 2 lieues 1/2, qu'ils auront dans des circonstances peu favorables, a paru suffisante.

On a supposé que tous ces feux seraient fixes. Il eût été inutile de les différencier entre eux ; car, lorsque les marins les apercevront, ils auront déjà reconnu leur position, au moyen des phares voisins du premier, du deuxième et du troisième ordre, dont la portée est bien supérieure, et ils sauront par conséquent à quel port appartient le petit feu qu'ils ont en vue [b].

---

[a] Au mois de mai 1825, époque où la Commission des phares arrêta son projet d'éclairage des côtes de France, Fresnel n'avait pas encore fait d'étude spéciale pour les fanaux de ports. Il y fut amené, vers la fin de cette même année, en s'occupant, à la demande du comte Chabrol de Volvic, préfet de la Seine, d'un projet de petits appareils lenticulaires de 20 à 25 centimètres de diamètre, pour éclairer les quais du canal Saint-Martin. La partie principale, c'est-à-dire le tambour dioptrique, ne présentait aucun problème nouveau à résoudre, et ses zones, en égard à leurs faibles dimensions, pouvaient dès lors être exécutées sous la forme normale *annulaire*. Mais, pour la partie accessoire, la considération de la fragilité et de la complication d'un système mixte de lentilles et de miroirs suggéra à Fresnel l'idée d'y substituer des anneaux de verre *à réflexion totale*, ou *catadioptriques*. Il appliqua bientôt aux appareils de feux de ports cette conception toute nouvelle, que les progrès de la fabrication ont permis d'étendre depuis aux plus grands appareils lenticulaires. (Voyez le numéro suivant et l'*Introduction*.)

[b] Dans quelques localités où les fanaux de port auraient pu se confondre entre eux ou avec les réverbères des rues, on a dû donner aux premiers un caractère distinctif, soit au moyen de glaces colorées, soit en variant leur feu fixe par des éclats.

C'est pour les feux de cette dernière espèce placés à l'entrée des ports de l'Océan et de la Manche, dont les passes sont à sec ou presque à sec à certaines époques de la marée (ce qui leur a fait donner le nom de *ports de marée*), que la Commission devra s'occuper des indications qu'il faut adopter pour avertir les bateaux et navires qui se présentent à l'entrée du port, qu'ils peuvent y entrer parce qu'il y a assez d'eau dans les passes, ou qu'ils doivent se tenir au large en attendant que l'on puisse s'y engager. N° XX (A).

§ III.

OBSERVATIONS GÉNÉRALES SUR LA DISTRIBUTION DES FEUX.

Lorsque MM. Arago et Fresnel eurent trouvé les moyens d'augmenter la puissance des lampes qui doivent éclairer les phares, et que M. Fresnel, par la construction et l'assemblage des lentilles, fut parvenu à leur donner l'éclat et la diversité convenables, la Commission s'assura de leurs portées par des expériences qui lui firent connaître la distance à laquelle on pourrait apercevoir, dans les temps ordinaires, la lumière des feux de chacune des espèces que l'on vient de décrire; et c'est d'après ces connaissances acquises que le Système général de la distribution des feux sur toute l'étendue des côtes de France a été arrêté ainsi qu'il suit :

Les phares du premier ordre, destinés à être vus de plus loin que les autres et à donner les premières indications sur la route qu'il faut tenir pour prolonger les côtes ou aller chercher un abri pendant la nuit, sont ceux qui ont fixé d'abord son attention. Ce sont en conséquence ceux dont on parlera en premier lieu; il sera ensuite question de tous les feux secondaires situés entre deux phares consécutifs du premier ordre. On n'omettra pas de faire connaître leurs apparences, avec les raisons qui les ont fait choisir, ainsi que les divers avantages que la navigation peut en retirer.

Il paraît indispensable, avant d'entrer en matière, de rassembler ici sous un seul point de vue les différentes portées des trois diverses espèces de phares du premier ordre, afin de pouvoir fixer invariablement quel est le plus grand intervalle que l'on puisse mettre de l'un à l'autre. On a vu que les phares du premier ordre à huit lentilles pouvaient être aperçus à 11 ou 12 lieues: nous nous en tiendrons à la plus petite de ces évaluations, et nous supposerons qu'on les voit à 11 lieues. La lumière des phares à seize lentilles se voit

N° XX (A). à la distance de 9 lieues, et celle des feux fixes à 7 ou 8 lieues; mais nous admettrons que ces derniers ne portent qu'à 7 lieues.

Il ne serait pas prudent d'espacer les phares sur la côte, en partant de la distance à laquelle on peut voir ceux de la plus grande portée. Il faut, au contraire, fixer les distances qui doivent les séparer d'après la portée des phares qui se voient de moins loin. Ainsi les feux fixes qui portent à 7 lieues sont ceux qui ont servi à établir la règle générale de ne pas placer les phares du premier ordre à plus de 14 lieues les uns des autres, du moins tant que les localités ont pu le permettre. On ne s'est écarté de cette règle qu'à l'égard : 1° du phare d'Ailly, qui est à 20 lieues 2/3 du cap Grisnez, parce que tout phare du premier ordre placé entre les deux eût été sans utilité, car les grands bâtiments se tiennent très au large de la côte située entre ces deux phares; 2° du phare du cap Fréhel, éloigné de 21 lieues 2/3 de celui du cap la Hague; les îles d'Aurigny, Jersey et Guernesey se trouvent entre ces deux phares, et les grands bâtiments passent au large de toutes ces îles; quant aux petits navires, ils fréquentent la passe de la Déroute, et l'on a placé sur la côte des feux secondaires d'après lesquels ils pourront se diriger pendant la nuit; 3° du phare de Biarritz, qui est à 42 lieues 2/3 de la tour de Cordouan: mais toute la côte depuis la Gironde jusqu'à Bayonne est peu fréquentée, et les grands bâtiments n'en approchent jamais : le seul point où l'on puisse aborder est le bassin d'Arcachon. Les localités n'ont pas permis de mettre entre les phares des côtes de la Méditerranée, tels que ceux du cap Béarn, du fort Brescou et du fort de Saint-Genest, situé aux bouches du Rhône, des distances moindres de 16 lieues à 17 lieues 2/3; mais l'air est en général plus transparent sur les côtes de cette mer que sur celles de l'Océan. Les feux y conserveront plus souvent leur portée; ainsi les désavantages du trop grand éloignement seront moins sensibles.

Les trois espèces de phares du premier ordre sont distribuées, sur toute l'étendue de la côte, de manière qu'il y ait toujours un feu fixe entre deux feux tournants d'espèces différentes; de sorte que, si d'un côté le phare le plus proche est à huit lentilles, celui qui sera de l'autre côté en aura seize. Les phares à feux fixes qui présentent les mêmes apparences de lumière seront en conséquence séparés par deux distances d'au moins 14 lieues chacune, ce qui fait en tout 28 lieues. Ainsi, il faudrait supposer qu'un vaisseau qui viendrait reconnaître la terre pendant la nuit eût de 28 à 30 lieues d'incer-

titude sur sa véritable position, pour que l'on pût craindre qu'il prît un de ces phares pour un autre. Il faut avouer qu'à la rigueur cette erreur est possible; mais elle n'a jamais lieu que dans les cas extraordinaires et à la suite de circonstances qui doivent faire présumer de grandes erreurs : on pense qu'alors personne ne sera tenté de venir prendre connaissance de terre, pendant la nuit, avant de s'être assuré de sa position par les meilleurs moyens en usage. N° XX (A).

On doit faire remarquer encore, avant de passer à l'exposition du système général, que deux feux fixes ne devant jamais se suivre immédiatement, on apercevra toujours le feu dont on se rapproche, avant d'avoir perdu de vue celui dont on s'éloigne. En effet, les phares tournants à seize demi-lentilles portent à 9 lieues; ainsi il faudrait mettre, entre un phare à seize lentilles et un feu fixe qui porte à 7 lieues, exactement 16 lieues d'intervalle, pour que l'on ne vît le feu dont on se rapproche qu'au moment où l'on perd de vue celui dont on s'éloigne. Entre un phare à huit lentilles, qui porte à 11 lieues, et un feu fixe, il faudrait mettre 18 lieues d'intervalle pour se trouver dans le même cas. Il est inutile de prévenir que les différentes portées de la lumière des diverses espèces de phares étant sujettes à varier avec l'état de l'atmosphère, il ne faut pas regarder les quantités qu'on vient de donner comme devant être fixes : il faut se rappeler qu'elles ont été évaluées plutôt pour un état au-dessous de l'état moyen de l'atmosphère qu'au-dessus, et que, dans les temps ordinaires, où l'on peut se diriger sans risque d'après les feux, leurs portées seront plus que suffisantes. La disposition qui place toujours un feu tournant très-brillant en avant ou à la suite de l'espèce de phare qui se voit de moins loin diminue encore l'inconvénient résultant de la grande distance que l'on a été forcé de mettre entre quelques-uns des phares du premier ordre des côtes de la Méditerranée, si toutefois elle ne le fait pas entièrement disparaître.

Depuis longtemps, ainsi qu'il a été dit au commencement de ce rapport, les besoins de la navigation ont été connus et l'on a cherché à y satisfaire. Plusieurs projets sur les moyens d'éclairer les côtes ont été proposés, sans qu'on y ait donné aucune suite. Enfin, on se décida à demander à tous les marins des diverses parties des côtes de France des éclaircissements sur l'établissement de feux propres à diriger avec le plus de sûreté les bâtiments qui les fréquentent et à prévenir les naufrages. Un mémoire qui ne porte point de

N° XX (A). date, mais que l'on peut juger, d'après certaines citations qui s'y trouvent, avoir été écrit à une époque comprise entre 1766 et 1778, fait partie des renseignements précieux conservés au Dépôt général des cartes et plans de la marine. Le nom de l'auteur est inconnu; mais, à en juger par la justesse des idées et la clarté des discussions, on doit conclure que ce mémoire est de l'un des officiers de la marine les plus expérimentés et les plus éclairés de son temps. Il semble qu'on pourrait l'attribuer à un officier d'une très-grande réputation, nommé M. de Kéarney, qui est généralement regardé comme le chef de l'école qui a produit successivement MM. de Kersaint et de Traversai, qui, pendant la guerre de 1778, passaient pour être les plus habiles manœuvriers. Du moins, le grand nombre de missions dont cet officier a été chargé pour explorer les côtes de France, le grand nombre de mémoires que l'on possède de lui, qui ressemblent par le style à celui dont il s'agit et qui portent tous l'empreinte d'un esprit et d'un talent supérieurs, donnent lieu de le penser.

C'est dans le mémoire dont il est question que les premières bases du système adopté par la Commission ont été prises. On sent que les contours des côtes et les localités étant restés les mêmes, on n'a pas dû établir les phares du premier ordre dans d'autres lieux que ceux qui avaient été désignés dans ce mémoire; seulement, comme nous possédons à présent des moyens suffisants de varier l'apparence des feux, il a été possible d'en établir quelques-uns dans les lieux où la crainte de causer de la confusion avait empêché l'auteur d'en placer, et de céder aux demandes quelquefois assez instantes des marins de certaines parties de la côte. On peut, à plus forte raison, en dire autant des feux secondaires, qui pourront sans inconvénient être beaucoup plus multipliés dans le nouveau système que dans celui du mémoire qui vient d'être cité.

Les dépenses considérables qu'il aurait fallu faire pour mettre l'ancien système à exécution ont sans doute été cause qu'on ne lui a, dans le temps, donné aucune suite. En effet, on ne pouvait alors produire que des feux fixes composés de simples réverbères alimentés avec de l'huile; et, lorsqu'on voulait leur donner plus d'éclat, on brûlait du bois et du charbon de terre dans des foyers très-élevés. Le seul moyen de diversifier l'apparence des phares était de placer dans certains lieux un seul foyer, et dans d'autres deux; par conséquent, on était forcé alors de construire deux tours, comme au cap la

Hève. Lorsque les phares étaient trop rapprochés, on proposait jusqu'à la construction de trois tours. Nous, au contraire, il nous a été possible de satisfaire à tous les besoins sentis il y a plus de cinquante ans, au moyen des trois diverses apparences que nous pouvons, sans augmenter les dépenses, donner à volonté à tous les phares. N° XX (A).

C'est ce nouveau moyen d'augmenter et de diversifier la lumière qui nous a permis de satisfaire à tous les besoins connus de la navigation et nous fait espérer de pouvoir satisfaire également par la suite à ceux que l'on n'a pu prévoir.

§ IV.

DISTRIBUTION DES FEUX SUR LES CÔTES DE FRANCE.

CÔTES DE LA MANCHE ET DE L'OCÉAN.

PHARES DU PREMIER ORDRE.

Le phare du premier ordre le plus septentrional est celui de *Calais*.

Feu tournant à seize demi-lentilles.

Portée, 9 lieues.

Un feu tournant a été établi à Calais plusieurs années avant que le système général eût été arrêté. Sa destination est de favoriser, pendant la nuit, la communication si fréquente qui a lieu, dans cette partie, entre les côtes de France et celles d'Angleterre. Il est éclairé par six lampes d'Argant, placées aux foyers de six grands miroirs paraboliques, et est à révolution. Lorsqu'on jugera à propos de changer l'appareil actuel, on le remplacera par un appareil lenticulaire tel que celui qui vient d'être indiqué.

PHARES SECONDAIRES SITUÉS AU NORD DE CALAIS.

Dunkerque : un feu fixe du troisième ordre est établi sur la tour de l'Heuguenar, à Dunkerque. Dans le système actuel, il sera à courtes éclipses.

Ce feu doit indiquer aux bateaux pêcheurs qui, à certaines époques de la marée, peuvent traverser les bancs situés au large de la rade de Dunkerque, la route qu'ils doivent suivre pour venir chercher l'entrée du port.



N° XX (A). L'appareil aura 1 mètre de diamètre intérieur.

La portée de 5 lieues est à peu près égale à la distance à laquelle les bancs de la rade s'étendent au large. Ce feu ne doit pas être vu par les grands bâtiments, qui, pour éviter les bancs, se tiennent à une grande distance de la côte.

Gravelines : un feu fixe de 50 centimètres de diamètre intérieur.

Ce feu indiquera le point de la côte dont on peut s'approcher pour venir chercher l'entrée de la rade de Dunkerque.

Le feu de Dunkerque n'est qu'à environ 7 lieues du phare de Calais; celui de Gravelines se trouve au milieu de la distance; par conséquent, ces trois feux seront très-rapprochés les uns des autres; mais comme ils auront tous des apparences différentes, il sera impossible de les confondre et de prendre l'un pour l'autre.

PHARES DU PREMIER ORDRE.

Calais : feu tournant à seize demi-lentilles.

Grisnez : feu fixe.

La distance qui sépare ces deux phares n'est que de 4 lieues; cependant la Commission n'a pas cru pouvoir se dispenser d'établir au cap Grisnez un phare du premier ordre, parce que c'est à ce cap que la côte fait le coude et forme l'entrée du Pas-de-Calais : en partant de ce point, les bâtiments qui en remontant vers le nord ont été obligés de se tenir au large pour éviter les bancs de la Somme doivent s'en écarter de nouveau pour se garantir des bancs de Flandres. Ce même phare fera connaître la sortie du détroit à ceux qui vont au sud et entrent dans la Manche.

PHARES SECONDAIRES SITUÉS ENTRE CALAIS ET GRISNEZ.

La distance de ces deux phares est si petite qu'il n'y a entre eux aucun feu secondaire; d'ailleurs il ne s'y trouve ni port ni lieu d'abri.

PHARES DU PREMIER ORDRE.

Grisnez : feu fixe.

Ailly : phare tournant à huit lentilles.

La distance de l'un à l'autre est de 20 lieues 2/3 et surpasse de 2 lieues

les portées de ces deux phares ajoutées ensemble; mais des bancs qui commencent à Ambleteuse et se prolongent le long de la côte en s'étendant jusqu'à 6 lieues au large empêchent de venir près de terre dans tout cet espace. Le premier point dont on puisse avoir intérêt de s'approcher est celui où se trouve le phare d'Ailly. C'est par cette raison qu'on y a placé un phare du premier ordre. Il servira aussi de point de reconnaissance aux bâtiments qui voudront, en quittant les côtes de France, passer à l'ouest des bancs de la Somme.

PHARES SECONDAIRES SITUÉS ENTRE GRISNEZ ET AILLY.

On trouve du côté d'Ailly, et à une petite distance, le port de Dieppe, très-fréquenté, et celui de Cayeux, d'une moindre importance. On a entretenu, depuis longtemps, des feux à leur entrée; la Commission propose de les conserver, en les modifiant d'après le nouveau système adopté.

Cayeux : feu du troisième ordre à courtes éclipses.

Il sert de guide aux bâtiments qui entrent dans la rivière de Somme. Il faudra décider si l'appareil sera de grande ou de petite dimension. Le fanal ne contenait autrefois que cinq lampes ordinaires à réverbère. Il sera sans doute utile de consulter les Chambres de commerce et les marins de la Somme ou de Saint-Valery, sur l'emplacement et l'éclat le plus avantageux à donner à ce feu, qui néanmoins devra toujours être un feu du troisième ordre à courtes éclipses. Il ne s'agira plus que de fixer les dimensions de l'appareil lenticulaire.

Dieppe : feu fixe.

Il y a depuis longtemps à Dieppe un appareil à feu tournant composé de miroirs paraboliques. Un feu de port suffirait, à la rigueur, pour marquer l'entrée du port; mais comme la côte est saine depuis Ailly jusqu'à Cayeux, on croit qu'en plaçant à Dieppe un feu fixe du troisième ordre et un autre feu à courtes éclipses à Cayeux, on facilitera la navigation des bâtiments qui sont obligés de prolonger, pendant la nuit, la côte située au nord d'Ailly, pour se rendre dans la Somme ou dans les autres ports situés plus au nord.

Dieppe est un port dans lequel on ne peut pas entrer à toutes les époques de la marée. L'usage actuel est de ne tenir le feu allumé que pendant le temps où il y a assez d'eau dans la passe pour les pêcheurs. Il semble que, d'après la destination qu'on veut lui donner dans le système général, qui est de servir aux caboteurs allant d'Ailly à l'embouchure de la Somme, il faudrait le con-

N° XX (A). server allumé d'un soleil à l'autre. Alors, pour avertir les pêcheurs qu'il n'y a pas assez d'eau dans le port, on pourrait prendre le parti de le masquer dans la direction de la passe, si les localités le permettent. Le feu serait démasqué du moment où les pêcheurs pourraient entrer dans le port. Il serait aussi possible de le rendre à éclipses, dans le même intervalle de temps, en faisant tourner des écrans autour de ce feu, à l'aide d'une machine à révolution. La Commission déterminera son choix d'après l'avis des marins de Dieppe.

Elle aura aussi à s'occuper des modifications dont les feux de ports sont susceptibles, pour faire connaître aux bâtiments qui se présentent à l'entrée d'un port de marée la quantité d'eau qu'il y a dans la passe.

Des feux de ports seront placés à l'entrée des ports de Boulogne, Étaples, et à l'embouchure de l'Authie; et l'on se conformera, dans tous ces lieux, à ce qui aura été décidé relativement aux indications dont on vient de parler.

PHARES DU PREMIER ORDRE.

Ailly : feu tournant à huit lentilles.

Cap d'Antifer : feu fixe.

La distance de l'un à l'autre est de 11 lieues.

Aucun phare n'avait été placé jusqu'à présent sur le cap d'Antifer: mais la Commission, ayant remarqué que la côte forme à ce point un coude qui ne permet de voir les feux du cap la Hève que lorsqu'on est à une grande distance du phare d'Ailly, a cru devoir proposer l'établissement d'un phare du premier ordre à cet endroit. Son intention est, d'une part, que les bâtiments qui prolongent la côte ne soient jamais exposés à perdre de vue la lumière du phare dont ils s'éloignent avant d'avoir aperçu celle du phare dont ils se rapprochent, lorsqu'ils naviguent dans ces parages; et, d'une autre part, d'épargner à ceux qui veulent aller directement prendre connaissance du phare de Barfleur le détour qu'ils seraient obligés de faire, s'ils étaient loin de terre, pour aller reconnaître les feux du cap la Hève, qui sont fixes et de la plus petite portée parmi les feux du premier ordre.

FEUX SECONDAIRES SITUÉS ENTRE AILLY ET ANTIFER.

L'entrée des ports de Saint-Valery-en-Caux et de Fécamp sera marquée,

pendant la nuit, par un feu de port; et ce feu pourra ne pas rester allumé tant qu'il n'y aura pas assez d'eau dans les passes pour les pêcheurs, ou bien on lui fera subir des modifications qui seront par la suite déterminées. N° XX (A).

PHARES DU PREMIER ORDRE.

Cap d'Antifer : feu fixe.

Cap de la Hève : deux tours portant chacune un feu fixe.

Les tours sont situées, l'une par rapport à l'autre, au N. 19° 50′ E. et au S. 19° 50′ O. du monde; elles sont séparées par une distance de 50 toises.

La distance du cap d'Antifer aux tours de la Hève n'est que de 4 lieues.

La lumière des feux que l'on allume à présent sur ces deux tours est produite par des lampes d'Argant avec des miroirs paraboliques. La Commission propose d'y substituer des feux fixes lenticulaires. La présence de deux feux fixes sur le cap la Hève empêchera toujours de confondre ce cap avec celui d'Antifer, qui n'en présentera qu'un seul.

FEUX SECONDAIRES SITUÉS ENTRE LES CAPS DE LA HÈVE ET D'ANTIFER.

La côte est saine dans tout cet espace et n'offre ni port ni abri.

PHARES DU PREMIER ORDRE.

Cap de la Hève : deux tours portant chacune un feu fixe.

Cap Barfleur : un feu tournant à seize demi-lentilles.

La distance de ces deux caps est de 17 lieues 1/3; la portée des feux n'est que de 16 lieues : on perdra donc de vue les deux phares dans les temps ordinaires, et, à plus forte raison, si l'on se rend en ligne directe du cap d'Antifer au cap Barfleur, qui en est à 19 lieues. Le golfe assez profond que la côte forme entre ces deux caps, et dans lequel on ne s'enfonce jamais sans nécessité, a empêché de remédier à cet inconvénient et de se conformer au principe adopté dans le système général, qui est de ne jamais mettre plus de 14 lieues entre deux phares consécutifs. Il y a d'autant moins de danger à perdre la lumière de vue, en se rendant de l'un de ces phares à l'autre, que, dans ce cas, on sera à peu près au milieu de l'ouverture du golfe, et au moins à 7 lieues de toutes les terres.

N° XX (A).

FEUX SECONDAIRES SITUÉS ENTRE LA HÈVE ET BARFLEUR.

Deux fanaux, composés chacun de deux réverbères *sidéraux*, sont établis à Honfleur, sur deux petites tours, pour indiquer l'emplacement de ce port et l'alignement du chenal. On substituera au premier un feu fixe du troisième ordre. Les bâtiments qui se trouveront à l'embouchure de la Seine verront, du côté du nord, les deux grands feux fixes du cap la Hève, et, du côté du sud, le feu du troisième ordre à courtes éclipses de l'embouchure de l'Orne: celui de Honfleur, qui sera fixe, paraîtra entre eux, et ne pourra être pris ni pour les uns ni pour l'autre.

Un feu à courtes éclipses du troisième ordre sera placé à l'embouchure de l'Orne ou de la rivière de Caen. L'embouchure de cette rivière est fermée par des bancs qui découvrent de basse mer et qui sont traversés par un grand nombre de petits filets d'eau. Lorsque la mer a acquis assez de hauteur pour rendre les passes praticables, elles sont encore fort difficiles; d'ailleurs elles changent très-fréquemment. Il faudra décider si le phare ne devrait pas plutôt être placé pour indiquer le mouillage de la fosse de Colleville, qui est bon et où l'on peut attendre que la marée permette d'entrer dans la rivière.

Des feux de port suffiront pour les entrées des ports du Havre, de Honfleur et de la Hougue.

PHARES DU PREMIER ORDRE.

Cap Barfleur : feu tournant à seize demi-lentilles.

Cap la Hague : feu fixe.

La distance de ces deux phares n'est que de 8 lieues 2/3.

Il était indispensable, malgré la proximité de ces deux caps, d'établir un feu sur le cap la Hague, parce que c'est à cet endroit que la côte tourne presque subitement et forme l'entrée du ras Blanchard, qui mène au passage de la Déroute, lequel est très-fréquenté par les caboteurs qui, venant du nord, vont à Granville et à Saint-Malo. Son emplacement devra être tel, que la lumière puisse être vue également bien par les bâtiments qui vont du cap Barfleur au cap la Hague et par ceux qui se trouvent dans le ras Blanchard et le passage de la Déroute.

Les grands bâtiments passent toujours au large des îles d'Aurigny et de

Guernesey : ceux-ci, après avoir dépassé le phare du cap la Hague, iront prendre connaissance des feux des Casquets, qui présentent trois points lumineux placés en triangle, et, après les avoir doublés, ils pourront, selon leur destination, revenir vers le sud, pour aller chercher les côtes nord de la Bretagne, où ils trouveront des phares placés de distance en distance, et d'après lesquels ils pourront se diriger pendant la nuit. N° XX (A).

PHARES SECONDAIRES SITUÉS ENTRE LES CAPS DE BARFLEUR ET DE LA HAGUE.

Des feux de ports seront placés sur les jetées, pour marquer les passes de la rade de Cherbourg, et à l'entrée du port. L'emplacement de ces feux a été décidé au Ministère de la marine; c'est cette administration qui est chargée de leur entretien. On pourrait lui proposer de substituer des feux de ports, conformes au système actuel, à ceux qui existent présentement.

PHARES DU PREMIER ORDRE.

Cap la Hague : un feu fixe.

Cap Fréhel : un feu tournant à seize demi-lentilles.

La distance du cap la Hague au cap Fréhel est de 21 lieues 2/3 et dépasse de beaucoup la portée des deux phares; mais, ainsi qu'on le verra bientôt, on n'ira jamais de l'un de ces feux directement à l'autre sans avoir eu connaissance des phares secondaires placés dans l'intervalle.

Le feu du cap Fréhel sert principalement aux bâtiments qui, venant de l'ouest, vont à Saint-Malo ou à Granville. Il y a présentement un feu tournant composé de huit grands réflecteurs à double parabole, illuminés chacun par deux lampes d'Argant; on leur substituera l'appareil lenticulaire indiqué ci-dessus, quand on le jugera convenable.

PHARES SECONDAIRES ENTRE LES CAPS LA HAGUE ET FRÉHEL.

Cap Carteret : feu tournant du second ordre à seize demi-lentilles.

Granville : feu fixe du troisième ordre de 1 mètre de diamètre.

La distance du cap la Hague au cap Carteret est de 7 lieues, et les portées réunies des phares font environ 12 lieues.

N° XX (A). Du cap Carteret à Granville, il y a 11 lieues, c'est-à-dire que la somme des portées moyennes de ces deux feux sera égale à leur distance.

Les navires qui se trouveront, pendant la nuit, entre la côte et les îles d'Aurigny, Gersey ou Guernesey, verront donc toujours, à moins de circonstances défavorables, un des feux établis au cap la Hague, au cap Carteret et à Granville. Ils auront ainsi les moyens de se conduire avec sécurité dans le canal de la Déroute, dont la navigation est très-difficile.

Les feux de Granville et du cap Fréhel sont à 10 lieues l'un de l'autre, distance qui est de 3 lieues moins grande que la portée totale des feux : ainsi, les navires qui iront à Granville, en venant de l'ouest, et ceux qui quitteront ce port pour aller au large ne perdront jamais de vue l'un de ces feux. Il en est de même de ceux qui iront à Saint-Malo ou en partiront; mais ceux-ci auront encore, pour marquer le lieu où ils doivent mouiller, un feu du troisième ordre à courtes éclipses, placé sur une des îles de la rade. Le même feu ne sera pas sans utilité pour les bâtiments qui passeront devant Saint-Malo, en allant à Granville, ou qui partiront de ce dernier port. On placera aussi un feu de port au point le plus saillant de l'entrée du port de Saint-Malo.

PHARES DU PREMIER ORDRE.

Cap Fréhel : feu tournant à seize demi-lentilles.

Bréhat : feu fixe.

Ces deux phares sont éloignés l'un de l'autre de 9 lieues 2/3, distance de 6 lieues environ plus faible que la somme des portées de leurs lumières.

Le phare de Bréhat est situé convenablement, quant à sa distance, par rapport à celui du cap Fréhel; il en est de même de sa situation à l'égard du phare de l'île de Bas : mais il a, sous d'autres rapports, des désavantages dont il est nécessaire de parler.

Une chaîne de roches, terminée par un écueil nommé *Rocarbel,* s'étend à près de 3 lieues au large de la pointe où le phare peut être placé. Le groupe de rochers connu sous le nom de *Roquedouve* est à environ 3 lieues dans le nord-est quart nord de l'extrémité du dernier rocher de cette chaîne; mais le passage entre les deux se trouve réduit à environ 1 lieue 1/2 de largeur par d'autres rochers sous l'eau qui, depuis Roquedouve, s'avancent à près de 2 lieues dans le sud-est, en s'approchant de la côte de Bretagne. De plus, les

limites de ce chenal ne sont marquées par aucun objet apparent; et, en faisant route au milieu, on est exposé à rencontrer un écueil sous l'eau appelé *Basse du Moulec*. Le passage entre Bréhat et Roquedouve est donc difficile pendant le jour, et il serait trop dangereux pendant la nuit pour le fréquenter; ainsi, la vue du phare de Bréhat ne peut tout au plus servir qu'à indiquer le point de la côte dont il ne faut pas approcher. Cet avertissement est essentiel à donner; et dans le cas où les localités ne se prêteraient pas à l'établissement d'un phare dans un emplacement plus favorable, il faudrait se contenter de celui d'un phare à Bréhat. Mais, avant de prendre définitivement ce parti, il conviendrait de s'assurer s'il n'y aurait pas quelque moyen propre à faire franchir sans danger, pendant la nuit, cette partie de la côte, où la navigation est si dangereuse.

Il est à remarquer qu'un feu fixe placé sur Roquedouve, au lieu de l'être à Bréhat, remplirait toutes les conditions nécessaires et rendrait la navigation presque aussi facile pendant la nuit que pendant le jour. En effet, sa lumière serait suffisante du côté de l'île de Bas, éloignée de 15 à 16 lieues dans l'ouest, et plus que suffisante du côté du cap Fréhel, situé dans le sud-est, à 12 lieues de distance, direction dans laquelle la navigation est le plus embarrassée d'écueils.

La route au nord de Roquedouve paraît libre de tout danger; et comme on peut passer assez près de ce groupe de rochers, le phare aurait le grand avantage de marquer la limite de la distance dont la côte peut être approchée dans cette partie. Les bâtiments allant à Saint-Malo ou à Granville, ou qui en reviennent, ne seraient plus obligés de s'écarter beaucoup dans le nord et de se détourner de leur route pour l'éviter.

Le plan du groupe de rochers appelé Roquedouve a été levé par M. de Lavoye, pendant les reconnaissances qu'il a faites en 1675, 1676 et les années suivantes, sur la côte de Bretagne. Le dessin de la carte originale de cet ingénieur est au Dépôt des cartes et plans de la marine. On y voit plusieurs rochers marqués d'une couleur particulière, indiquant qu'ils restent toujours hors de l'eau. Deux de ces rochers ont reçu des noms particuliers : celui qui est presque au milieu du groupe s'appelle *la Madre*, et le second, qui se trouve à l'extrémité orientale, a reçu le nom de *Lavander*. Il est à présumer que ce sont les plus élevés et les plus considérables, et qu'il serait possible d'y construire une tour, même avec moins de difficulté que sur le rocher d'Eddystone,

Nº XX (A). si toutefois leurs abords ne sont pas trop dangereux. Ce dernier point est celui qu'il importe surtout d'examiner. Le service essentiel qu'un phare sur Roquedouve rendrait à la navigation des ports de Saint-Malo et de Granville engage la Commission à prier M. le Directeur général de demander à Son Exc. le Ministre de la marine de faire visiter Roquedouve par les ingénieurs-hydrographes attachés au Dépôt de la marine, afin d'éclaircir cette importante question. Ils nous feront connaître, par un plan exact, la position des rochers entre eux, leur élévation, et nous apprendront si la force de la mer ou des courants permet de les aborder assez souvent, sans danger, tant pour y bâtir une tour que pour relever les gardiens et leur porter des vivres, lorsque le phare sera construit.

FEUX SECONDAIRES SITUÉS ENTRE LE CAP FRÉHEL ET BRÉHAT.

Saint-Brieuc est le seul port à l'entrée duquel il soit nécessaire d'entretenir un feu de port.

FEUX DU PREMIER ORDRE.

Bréhat : feu fixe.

Ile de Bas : feu tournant à huit lentilles.

La distance de Bréhat à l'île de Bas est de 13 lieues 2/3.

La portée totale des feux est de 18 lieues.

La côte comprise entre ces deux phares est bordée de rochers qui s'étendent, dans de certains endroits, à plus de 3 lieues au large. L'île de Bas, indiquée par un feu, marque le point de la côte où l'on peut commencer à se rapprocher de terre, lorsqu'on se dirige à l'ouest, ou à s'en éloigner quand on va dans l'est. S'il était possible de placer un feu sur Roquedouve, il indiquerait, du côté de Bréhat, la distance à laquelle on doit se tenir éloigné de la terre: en sorte que, si l'on y construisait une tour, cette côte si dangereuse se trouverait balisée pendant le jour et pendant la nuit.

PHARES SECONDAIRES SITUÉS ENTRE BRÉHAT ET L'ÎLE DE BAS.

La Commission a proposé d'allumer un feu de port à Morlaix. Mais comme les passes qui conduisent au mouillage de la rivière sont longues et tortueuses,

on pourra par la suite y établir des feux secondaires par échelons, comme en beaucoup d'autres endroits de la côte, et rendre ces passes praticables pendant la nuit, sans occasionner de confusion dans le système général que la Commission a adopté. N° XX (A).

PHARES DU PREMIER ORDRE.

Ile de Bas : feu tournant à huit lentilles.

Ile d'Ouessant : feu fixe.

Ouessant est à 14 lieues 2/3 de l'île de Bas. L'espace éclairé peut être de 18 lieues.

Il n'y a aucune observation à faire ici sur le phare d'Ouessant; il en sera question plus bas, lorsqu'on s'occupera des feux établis à l'entrée de Brest.

PHARES SECONDAIRES SITUÉS ENTRE L'ÎLE DE BAS ET OUESSANT.

Il est possible que l'on demande par la suite de placer des feux de port à l'entrée de quelques-uns des petits ports de la côte compris entre les phares de l'île de Bas et d'Ouessant et qui ne sont en général fréquentés que par les navires du cabotage et par les pêcheurs. La Commission pourra sans inconvénient accorder tous ceux qu'elle jugera nécessaires.

PHARES DU PREMIER ORDRE.

Ile d'Ouessant : feu fixe.

Bec du Ras : feu fixe.

La distance du bec du Ras au phare d'Ouessant est de 10 lieues.

On doit remarquer ici que la Commission s'est écartée du principe général de ne jamais placer deux feux présentant les mêmes apparences sur deux points aussi rapprochés l'un de l'autre que ceux-ci; mais comme, dans le système général, il doit y avoir à la pointe Saint-Matthieu un feu tournant du second ordre, et sur l'île de Sein un autre feu à courtes éclipses, également du second ordre, elle a cru devoir adopter, à l'égard de cette partie de la côte, un arrangement particulier : les motifs qui l'ont déterminée à prendre ce parti vont être exposés.

Les phares du premier et du second ordre dont on vient de parler ont

N° XX (A). pour principal objet d'assurer la navigation des vaisseaux qui entrent, pendant la nuit, dans la rade de Brest, ou qui en sortent. La navigation de cap en cap est en quelque sorte interrompue à cet endroit par une chaîne de roches très-dangereuses, qui à la vérité laisse entre elle et le bec du Ras un passage très-étroit, mais qui, de l'autre côté, en se dirigeant droit à l'ouest, s'étend à plus de 5 lieues au large. M. Beautemps-Beaupré, ingénieur-hydrographe en chef du Dépôt des cartes et plans de la marine, ayant sous ses ordres les ingénieurs-hydrographes attachés à cet établissement, vient d'en lever un plan très-exact. Une campagne de six mois de travaux opiniâtres, pendant lesquels on a couru de grands dangers, a suffi à peine pour compléter ce plan. Les résultats obtenus sont la connaissance entière du passage appelé *Ras-de-Sein*, situé entre le bec du Ras et la chaîne de roches dont on vient de parler. M. Beautemps-Beaupré a fixé, tant du côté du nord que de celui du sud, les limites de cette chaîne qu'on appelle *chaussée de Sein*. On peut s'apercevoir, à l'inspection de la carte publiée au Dépôt de la marine, que l'intérieur a été visité avec soin; néanmoins, d'après la nature de cet écueil, il serait impossible d'assurer que l'on a trouvé la véritable limite de son extrémité. En effet, c'est un amas de roches rapprochées les unes des autres, qui, à basse mer, présentent, dans le voisinage de l'île de Sein, des aiguilles élevées, mais qui s'abaissent graduellement à mesure qu'elles en sont plus éloignées; d'abord elles ne paraissent plus au-dessus de la basse mer, ensuite elles ne forment plus, très-près de l'extrémité, que des rochers épars et cachés, que le basard seul peut faire rencontrer. Il en résulte que la limite marquée sur la carte dont il est question n'est réellement que celle des travaux des ingénieurs-hydrographes, qui ne pouvaient pas les pousser plus loin sans s'exposer à perdre un temps qu'ils ont plus fructueusement employé sur d'autres parties de la côte. Certainement ils se sont arrêtés bien près de l'extrémité; cependant il serait imprudent de répondre qu'au delà de la partie visitée par eux il ne se trouvât pas sous l'eau quelques roches détachées sur lesquelles des bâtiments, passant près de cette extrémité, pourraient se perdre.

On peut donc établir en règle générale, que l'on ne doit jamais approcher l'extrémité de la chaussée de Sein. Dès lors, il faut se contenter, en plaçant des feux propres à faire éviter ce danger, d'indiquer par la position relative de ces feux si ceux qui les aperçoivent se trouvent en dehors de ses limites du côté du nord et dans l'Iroise, ou bien s'ils sont dans le sud, du côté de la

baie d'Audierne. Ces deux indications leur apprendront avec certitude de quel côté ils doivent se diriger pour s'éloigner. N° XX (A).

Le feu du second ordre à courtes éclipses placé sur l'île de Sein remplira l'objet qu'on se propose. S'il est établi sur la pointe la plus nord de l'île, il déterminera, avec le feu fixe du premier ordre de la pointe du Ras, un alignement qui prolongera la chaussée de Sein dans toute sa longueur, en passant à peu près au milieu. Ainsi les bâtiments qui, par hasard, se trouveraient exposés à faire route sur la chaussée de Sein en seraient avertis par la présence de deux feux qu'ils verraient dans l'est, suivant la même direction ou à peu de distance l'un de l'autre. On aura en général la certitude d'être au nord de la chaussée, toutes les fois que l'on apercevra un feu à courtes éclipses à droite d'un feu fixe; et au contraire on se trouvera dans le sud, quand le feu à courtes éclipses sera vu à la gauche du feu fixe.

Le feu de l'île de Sein sera environ à 1 lieue 2/3 de celui du bec du Ras; et comme il sera vu de plus près par les vaisseaux qui sont au large, on lui a donné moins d'intensité, afin que les deux feux puissent être aperçus en même temps de ce côté.

Le feu de la pointe du Ras marque d'une manière très-distincte le passage que la chaussée de Sein laisse entre elle et la terre. Il se lie aussi avec le système général de la navigation de cap en cap : c'est lui qui est le plus rapproché du phare de Penmarc'h et qui marque le point où cette navigation est interrompue.

Le phare d'Ouessant, ainsi qu'on l'a vu, se lie du côté du nord au système de la navigation de cap en cap et en marque la limite de ce côté. Il sert en premier lieu à faire connaître l'entrée de Brest et à indiquer la route qu'il faut suivre pour s'y engager. On aperçoit ensuite le phare de la pointe Saint-Matthieu, d'après lequel on doit se diriger pour entrer dans le Goulet.

Le phare de Saint-Matthieu est à près de 5 lieues dans le sud-est du phare d'Ouessant. Leurs feux seront vus en même temps dans un grand nombre de positions différentes; mais comme dans quelques-unes on pourrait n'apercevoir que le feu de Saint-Matthieu, il a fallu donner à ce dernier une apparence qui empêchât non-seulement de le confondre avec celui d'Ouessant, mais encore avec celui de l'île de Sein : or, comme celui-ci sera à courtes éclipses, on a cru que l'autre devait être un feu tournant ordinaire à éclipses fréquentes, et l'on a proposé d'y établir, en conséquence, un appareil du deuxième ordre composé de seize demi-lentilles.

N° XX (A). Les feux des phares d'Ouessant et de Saint-Matthieu sont entretenus aux frais du Ministère de la marine : ils consistent dans des lampes d'Argant munies de grands réflecteurs paraboliques. La Commission, en raison de l'importance de ces phares et de leur utilité pour la sûreté des vaisseaux de Sa Majesté, a l'honneur de représenter à M. le Directeur général qu'il serait à désirer que le système proposé par elle pour éclairer les côtes de France, et qui est développé dans ce mémoire, fût communiqué à Son Exc. le Ministre de la marine et des colonies, et que Son Excellence fût invitée à faire remplacer, quand elle le jugerait convenable, les miroirs paraboliques servant actuellement à l'éclairage de ces deux phares, par les appareils lenticulaires dont on vient de parler.

PHARES DU PREMIER ORDRE.

Bec du Ras : feu fixe.

Penmarc'h : feu tournant à seize demi-lentilles.

La distance du bec du Ras à Penmarc'h n'est que de 7 lieues; ainsi le feu tournant de Penmarc'h sera vu dans toute l'étendue de cette distance. Il en sera la plupart du temps de même à l'égard du bec du Ras; mais en s'en rapprochant, on ne tardera pas à voir en même temps sur la gauche le feu du second ordre à courtes éclipses de l'île de Sein.

Le phare de Penmarc'h est celui qui doit servir de point de reconnaissance aux bâtiments venant du large et allant à Lorient.

PHARES SECONDAIRES SITUÉS ENTRE LE BEC DU RAS ET PENMARC'H.

Il ne se trouve dans l'étendue de côte située entre ces deux phares que le port d'Audierne, peu éloigné du bec du Ras, où il puisse devenir nécessaire d'entretenir un feu de port. Il existe néanmoins, très-près de Penmarc'h, une petite anse, nommée *anse de la Torche,* où se trouve la seule plage sur laquelle des bâtiments chargés en côte pourraient venir se jeter sans courir risque de se perdre corps et biens. Les circonstances où l'on est forcé de prendre ce parti extrême sont heureusement très-rares; cependant, si l'on juge par la suite qu'il soit utile d'indiquer pendant la nuit cette plage par un feu, ou bien si les caboteurs ou les pêcheurs réclament ce secours, il ne faudrait pas hésiter à le leur accorder.

N° XX (A).

PHARES DU PREMIER ORDRE.

Penmarc'h : feu tournant à seize demi-lentilles.

Ile de Groix : feu fixe au fort de la Croix.

La distance est de 13 lieues, et l'espace susceptible d'être éclairé dans les temps ordinaires est de 16 lieues; ainsi l'on verra presque toujours la lumière de l'un ou l'autre de ces feux.

Le phare de Penmarc'h servira, ainsi qu'on l'a dit plus haut, d'objet de reconnaissance pour aller à Lorient, et celui de Groix indiquera le lieu où les bâtiments pourront attendre le jour ou un temps favorable pour entrer dans ce port; il sera aussi fort utile, comme point très-avancé, à ceux qui prolongeront la côte.

FEUX SECONDAIRES SITUÉS ENTRE PENMARC'H ET GROIX.

Lorsqu'on va de Penmarc'h à Groix, on passe au large d'un groupe d'îles appelées îles de Glenan : un feu du troisième ordre à courtes éclipses serait établi sur l'île de Penfret, pour indiquer le mouillage le plus fréquenté. Ce feu pourra être aperçu de 4 ou 5 lieues; il serait avantageux qu'il pût être vu du large dans beaucoup de directions; ce serait un secours de plus pour ceux qui prolongent la côte.

Loctudy, la rivière de Quimper, et Concarneau sont des lieux où il faut entretenir des feux de port.

PHARES DU PREMIER ORDRE.

Ile de Groix : feu fixe au fort de la Croix.

Belle-Ile : feu tournant à huit lentilles.

La distance de ces phares est de 8 lieues, et l'espace éclairé pourrait être de 18, c'est-à-dire beaucoup plus long.

Belle-Île est un des grands atterrages de la côte de France; c'est à ce point que l'on vient prendre connaissance de terre pour aller dans la Loire; et lorsque les vents soufflent du sud, on vient quelquefois chercher cette île pour aller à Lorient.

N° XX (A).

PHARES SECONDAIRES SITUÉS ENTRE GROIX ET BELLE-ÎLE.

Il sera nécessaire d'entretenir des feux de port à Port-Louis, à la rivière de Crac'h, à l'entrée du Morbihan et sur la pointe nord-est de l'île d'Hoédic.

Le Morbihan, où se trouvent grand nombre de petits ports et de chenaux étroits fréquentés par de petits navires et principalement par des pêcheurs, exigera sans doute qu'on établisse des feux de port dans plusieurs endroits; mais on le fera à mesure qu'on en sentira le besoin.

PHARES DU PREMIER ORDRE.

Belle-Ile : feu tournant à huit lentilles.

Ile Dieu, à la tour Saint-Sauveur : feu fixe.

La distance de ces deux phares est de 16 lieues 2/3, et l'espace qui pourrait être éclairé, de 18 lieues; ainsi l'on verra presque toujours la lumière de ces deux phares.

FEUX SECONDAIRES SITUÉS ENTRE BELLE-ÎLE ET L'ÎLE DIEU.

Les feux secondaires dont il est ici question sont destinés à faciliter l'entrée de la Loire. Les bâtiments venant du large qui auront eu connaissance du feu de Belle-Île se dirigeront d'après le feu d'un phare établi sur un banc appelé le *Four de Guérande;* ensuite le même phare les aidera à passer entre ce banc et la pointe du Croisic, pour entrer dans la Loire.

Le phare du Four de Guérande sera un feu tournant du second ordre à seize demi-lentilles. Il est éclairé actuellement par huit miroirs à double parabole, portant chacun deux becs d'Argant : on y substituera, dans la suite, l'appareil lenticulaire.

La distance du phare de Belle-Île à celui du Four est de 8 lieues 1/2 environ, et l'espace qui pourrait être éclairé, de 16 lieues. Le feu de Belle-Île à lui seul peut éclairer tout cet intervalle. Il sera d'un grand secours aux bâtiments qui voudront entrer en Loire, ainsi qu'à ceux qui en sortiront.

Le feu du Four, dont on vient de parler, est près de l'extrémité de la rive

droite de la Loire. Un autre feu sera placé sur un îlot appelé *le Pilier*, situé à peu de distance de la partie de l'île de Noirmoutier qui forme la pointe de l'entrée de la rivière du côté de la rive gauche. Ce feu sera du second ordre et à courtes éclipses. Il servira aux bâtiments qui entrent dans la Loire de ce côté, ou à ceux qui en sortent, et aux pêcheurs qui fréquentent la baie de Bourgneuf. N° XX (A).

En établissant un feu fixe du troisième ordre sur chacune des deux tours d'Aiguillon, on indiquera l'alignement qu'il faut suivre pour entrer dans la rade des Charpentiers et dans celle de Bonne-Anse.

PHARES DU PREMIER ORDRE.

Ile Dieu, sur la tour de Saint-Sauveur : feu fixe.

Tour des Baleines, dans l'île de Ré : feu tournant à seize demi-lentilles.

La distance de la tour de Saint-Sauveur à celle des Baleines est de 14 lieues 1/3.

L'espace qui pourrait être éclairé par ces deux phares est de 16 lieues.

Le phare de la tour des Baleines marque l'entrée du pertuis Breton, et donne les moyens d'éviter un banc de roches dangereux qui s'étend à près de 2 lieues au large de la pointe sur laquelle il est placé. La route qu'on fait en allant du phare de l'île Dieu à celui de la tour des Baleines peut conduire également à la rade de Saint-Martin de l'île de Ré et à la rade de l'île d'Aix, qui est celle de Rochefort.

FEUX SECONDAIRES SITUÉS ENTRE L'ÎLE DIEU ET LA TOUR DES BALEINES.

La pointe des Sables-d'Olonne est environ à moitié chemin entre l'île Dieu et la tour des Baleines; elle est assez saillante, et surtout dangereuse à cause d'un groupe de rochers appelés *Barges d'Olonne*, qui la font encore saillir davantage. Un feu du troisième ordre à courtes éclipses doit être établi à l'extrémité de cette pointe, pour avertir pendant la nuit qu'il ne faut pas approcher du lieu où il est placé. Ce feu sera aussi d'une assez grande ressource à l'entrée du pertuis Breton, parce qu'il donnera le moyen d'éviter plusieurs écueils.

Il sera aussi nécessaire d'entretenir un feu de port à l'entrée du port Saint-Gilles et du port de Saint-Martin à l'île de Ré.

N° XX (1).

PHARES DU PREMIER ORDRE.

Tour des Baleines, dans l'île de Ré : feu tournant à seize demi-lentilles.

Tour de Chassiron, dans l'île d'Oléron : feu fixe.

La distance de l'un de ces feux à l'autre n'est que de 4 lieues 2/3. Ils seront vus en même temps par les bâtiments qui se présenteront à l'entrée du pertuis d'Antioche, pour aller soit à la rade de l'île d'Aix, soit à celle des Basques, située en avant de la Rochelle.

FEUX SECONDAIRES SITUÉS ENTRE LES TOURS DES BALEINES ET DE CHASSIRON.

Un feu du troisième ordre sera placé sur l'île d'Aix, pour indiquer la route qui conduit au mouillage de cette île.

Il y a vis-à-vis de la Rochelle un banc nommé *le Lavardin,* près duquel les bâtiments qui veulent jeter l'ancre dans la rade de Chef-du-Bois sont obligés de passer ou même de mouiller. Il serait à désirer que l'on pût y construire une tour pleine; mais elle serait d'une exécution difficile.

Il faudra entretenir un feu de port à la Rochelle.

PHARES DU PREMIER ORDRE.

Tour de Chassiron : feu fixe.

Tour de Cordouan : feu tournant à huit lentilles.

La tour de Cordouan n'est qu'à 9 lieues 2/3 de celle de Chassiron. La côte occidentale de l'île d'Oléron située entre ces deux tours est inabordable. Les bateaux pêcheurs ont même grand soin de l'éviter. Tout bâtiment venant du large sera averti qu'il approche de cette côte dangereuse, quand il verra ces deux feux en même temps et qu'il aura le feu tournant à droite et le feu fixe à gauche. Lorsqu'il verra au contraire un feu tournant à sa gauche et un feu fixe à sa droite, le feu à éclipses sera celui de la tour des Baleines, et sa position lui permettra d'entrer dans le pertuis d'Antioche. Il pourra même souvent apercevoir à la fois les trois phares dont on vient de parler. Ainsi, au moyen des apparences différentes que l'on peut donner aux feux, l'espèce d'accumulation de phares qui a lieu sur cette partie de la côte, loin d'être nuisible, augmente au contraire les moyens de reconnaître sa position.

N° XX (A).

PHARES SECONDAIRES PRÈS LA TOUR DE CORDOUAN.

Le phare de la tour de Cordouan est principalement destiné à marquer l'embouchure de la Gironde; mais, après avoir doublé la tour, on est obligé, pour entrer en rivière, de passer près de la pointe de Grave, qui est très-basse et difficile à distinguer pendant la nuit. Un feu fixe du troisième ordre sera établi sur cette pointe pour la faire reconnaître.

Il y aura un feu de port sur les jetées de Royan.

PHARES DU PREMIER ORDRE.

Tour de Cordouan : feu tournant à huit lentilles.

Biarritz : feu tournant à seize demi-lentilles.

La distance de Cordouan à Biarritz, situé près de l'embouchure de la rivière de Bayonne, est de 42 lieues 2/3 en latitude; ainsi il n'est pas à craindre que l'on risque de se tromper et de confondre ces deux feux, dont les éclats sont d'ailleurs deux fois plus fréquents dans l'un que dans l'autre. La navigation de cap en cap est interrompue à l'embouchure de la Gironde, comme à l'entrée du port de Brest; mais les motifs sont différents : ce ne sont pas des écueils qui empêchent d'approcher la côte située entre Cordouan et Bayonne, mais la nature de la côte elle-même, qui est droite, sans aucun abri, et sur laquelle on serait infailliblement jeté, si, se trouvant à une petite distance de terre, on était surpris par des vents d'ouest, qui soufflent souvent et avec violence dans ces parages.

Le phare de Biarritz est celui qui donne aux bâtiments obligés de passer la nuit à l'entrée de la rivière de Bayonne le moyen de prendre une position favorable pour se présenter le lendemain à l'embouchure de la rivière, et recevoir les pilotes chargés de conduire les bâtiments dans l'Adour, ou apprendre d'eux, par des signaux, la route qu'il faut suivre pour franchir la barre, toutes les fois que le mauvais temps ne permet pas aux pilotes de se rendre à bord.

FEUX SECONDAIRES SITUÉS ENTRE LA TOUR DE CORDOUAN ET BIARRITZ.

Un feu fixe du troisième ordre, placé à l'entrée du bassin d'Arcachon.

N° XX (A).

CÔTES DE LA MÉDITERRANÉE.

PHARES DU PREMIER ORDRE.

Le cap Béarn, près de Port-Vendres : feu fixe.

Le fort Brescou ou *la butte d'Agde :* feu tournant à huit lentilles.

La distance de ces deux phares est de 16 lieues, et la ligne qui pourrait être éclairée, de 18 lieues. Ainsi il est à présumer que l'on verra ordinairement la lumière de l'un de ces phares, lorsqu'on sera entre le cap Béarn et Agde.

Le feu du cap Béarn, indiquant l'entrée de Port-Vendres, sera d'un grand secours aux bâtiments qui seront obligés de rester au large pendant la nuit, avant de pouvoir entrer dans ce port.

PHARES SECONDAIRES SITUÉS ENTRE LE CAP BÉARN ET LE FORT BRESCOU.

Il sera peut-être nécessaire de marquer la passe de Port-Vendres par des feux de port ; il faudra, à cet égard, consulter les marins du lieu.

L'entrée de Collioure exigera peut-être un feu de port ; il en faudra un autre au fort de la Nouvelle.

PHARES DU PREMIER ORDRE.

Le fort Brescou ou *la butte d'Agde :* feu tournant à huit lentilles.

La tour de Saint-Genest, aux bouches du Rhône : feu fixe.

La distance du fort Brescou à la tour de Saint-Genest est de 17 lieues 2/3, et la ligne qui pourrait être totalement éclairée, de 18 lieues. Ainsi cette distance approche tellement de la limite, que l'on sera exposé, pendant quelques instants, à perdre les deux phares de vue, lorsque l'atmosphère aura moins de transparence qu'à l'ordinaire.

PHARES SECONDAIRES ENTRE BRESCOU ET SAINT-GENEST.

Il y a, depuis très-longtemps, au port de Cette, une tour sur laquelle on

entretient un feu. On y allumera, par la suite, un feu fixe du troisième ordre, qui ne pourra pas être confondu avec le feu tournant du fort Brescou. N° XX (A).

Un autre feu du troisième ordre, à courtes éclipses et de 1 mètre de diamètre, sera placé à Aigues-Mortes; il ne pourra jamais être pris pour le feu fixe de la tour de Saint-Genest, et aura encore une portée assez grande, même dans des circonstances défavorables, pour être vu des bâtiments qui naviguent le long de la côte. Il n'est pas à craindre que le feu fixe du troisième ordre de Cette soit pris pour le feu fixe de Saint-Genest, parce que l'on ne verra jamais le feu de Cette sans apercevoir le feu tournant du fort Brescou.

PHARES DU PREMIER ORDRE.

La tour de Saint-Genest, aux bouches du Rhône : feu fixe.

L'île Planier, devant Marseille : feu tournant à seize demi-lentilles.

La distance de ces phares est de 9 lieues, et la ligne qui pourrait être entièrement éclairée est de 16 lieues; ainsi, en allant des bouches du Rhône à Marseille, ou en faisant la route en sens contraire, on aura toujours en vue la lumière de l'un ou de l'autre de ces phares.

PHARES SECONDAIRES ENTRE L'ÎLE PLANIER ET SAINT-GENEST.

Un petit canal, qui conduit à l'étang de Berre et qui est à peu de distance de la tour de Saint-Genest, a reçu le nom de *Port-de-Bouc;* c'est le port de Martigues. Quoiqu'il n'y ait que très-peu d'eau, et qu'il ne reçoive que des bateaux ou de très-petits navires, il serait utile d'y établir un feu de port.

PHARES DU PREMIER ORDRE.

L'île Planier: feu tournant à seize demi-lentilles.

Le cap Sicié: feu fixe.

La distance de ces deux phares est de 9 lieues 2/3 ; l'étendue de la ligne éclairée pourrait être de 16 lieues, et se trouve beaucoup plus grande.

Ce sont les deux phares les plus importants de la côte, parce qu'ils indiquent les ports les plus fréquentés de France sur la Méditerranée. Le premier

N° XX (A). sera vis-à-vis de la rade de Marseille, et le second très-près de la rade de Toulon.

Il n'y a eu, jusqu'à présent, aucun phare assez brillant pour donner au grand nombre de bâtiments de commerce richement chargés qui viennent à Marseille les moyens de pouvoir en toute sécurité prendre, pendant la nuit, le mouillage qui précède ce port. Ce n'est que depuis le moment où les travaux de la Commission des phares ont pu faire des progrès rapides que l'établissement d'un phare du premier ordre sur l'île Planier a été définitivement arrêté. La tour est actuellement en construction, et il y a lieu d'espérer que le commerce de Marseille jouira sous peu des grands avantages que ce phare doit lui procurer.

On ne connaît, entre les phares de l'île Planier et du cap Sicié, que le port de Marseille où il paraisse nécessaire d'allumer un feu de port.

PHARES DU PREMIER ORDRE.

Le cap Sicié : feu fixe.

La tour de Camarat : feu tournant à huit lentilles.

La distance des feux est de 12 lieues, et la longueur de leurs portées réunies, de 18 lieues.

Le feu que l'on entretient depuis longtemps sur la tour de la jetée du port de Cette est un des moins faibles qui, jusqu'à présent, aient été établis sur les côtes de la Méditerranée. Non-seulement on avait négligé de s'occuper des besoins de la navigation générale de ces côtes, mais on n'avait pas même songé à ceux de quelques localités qui auraient dû fixer particulièrement l'attention. Aucun phare brillant, comme on vient de le voir, n'indiquait les approches de Marseille. La rade du port de Toulon, l'un des principaux siéges de nos forces navales, n'était marquée par aucun phare ou feu qui en facilitât l'entrée pendant la nuit. Les réclamations récentes du commerce de Marseille, relativement à l'établissement d'un phare sur l'île Planier, prouvent que ces besoins avaient été sentis; et les lacunes qui subsistent à cet égard ne peuvent être attribuées qu'à l'imperfection des moyens dont on a pu disposer jusqu'à présent, et qui ne permettaient pas de multiplier les phares sans de grandes dépenses ou sans avoir à craindre les dangers des méprises occasionnées par des lumières de même apparence, trop rapprochées les unes des autres.

Le système adopté, à l'aide duquel il est possible de donner à ces lumières une grande variété d'aspects, a fait disparaître des obstacles qui, jusqu'à présent, n'avaient pu être surmontés. Désormais les côtes de la Méditerranée seront éclairées d'un bout à l'autre, comme celles de l'Océan. Les navigateurs de ces deux mers n'oublieront jamais qu'ils doivent un bienfait si digne de toute leur reconnaissance aux encouragements éclairés que M. le Directeur général des ponts et chaussées a donnés aux travaux de la Commission des phares, ainsi qu'aux succès des recherches de M. Fresnel, à qui est due l'invention des appareils lenticulaires, et de M. Arago, qui est parvenu, de concert avec cet habile ingénieur, à augmenter l'intensité de la lumière des lampes beaucoup plus qu'on ne l'avait fait jusqu'à présent. N° XX (A).

PHARES SECONDAIRES SITUÉS ENTRE LE CAP SICIÉ ET LA TOUR DE CAMARAT.

La rade de Toulon et celle des îles d'Hyères, qui se trouvent entre le cap Sicié et la tour de Camarat et sont très-fréquentées par les plus grands vaisseaux de guerre et les bâtiments marchands, ont obligé de multiplier les feux secondaires dans cette partie de la côte, comme on l'a fait à l'entrée de Brest et à l'embouchure de la Loire.

Un feu fixe du troisième ordre, placé au cap Sepet, indiquera l'entrée de la rade de Toulon.

La grande passe de la rade des îles d'Hyères, qui est entre l'île Porquerolles et l'île Port-Cros, sera indiquée par un feu à courtes éclipses, placé très-près, dans le nord, de la pointe voisine des îles Seraignet.

Un second feu fixe du troisième ordre sera établi vers l'extrémité orientale de l'île du Levant ou des Titans, de manière qu'après avoir pris connaissance de ce feu, en venant de l'est, pour passer entre les îles et la terre, on puisse, sans crainte, faire route pour le mouillage, dès qu'on aura vu le feu de la pointe orientale de Porquerolles au large de la côte nord de l'île Port-Cros.

PHARES DU PREMIER ORDRE.

La tour de Camarat : feu tournant à huit lentilles.

La Garouppe : feu fixe.

La ligne éclairée pourrait être de 18 lieues, et la distance qui sépare les

N° XX (A). deux phares n'est que de 10 lieues 1/3; ainsi, en allant de l'un à l'autre, on ne perdra jamais la lumière de vue; la plupart du temps même, le feu de Camarat pourra être vu de la Garouppe.

Il n'y a entre ces deux phares aucun port très-remarquable; on ne propose point, en conséquence, d'y établir d'autres feux.

Paris, le 9 septembre 1825.

Le Contre-amiral honoraire, Rapporteur de la Commission des phares.

ROSSEL.

N° XX (B).

AVIS

DE LA COMMISSION DES PHARES.

La Commission des phares a entendu avec le plus vif intérêt la lecture du rapport de M. le contre-amiral de Rossel. Après avoir examiné attentivement les dispositions proposées dans cet important mémoire, elle les a toutes adoptées, comme étant les plus propres à satisfaire aux besoins de la navigation et à établir entre les feux la diversité nécessaire pour empêcher de les confondre.

En donnant son approbation au beau travail de M. de Rossel, elle prie ce savant marin de recevoir ses remercîments, et croit pouvoir y joindre par avance ceux des navigateurs, pour le service important qu'il vient de leur rendre, service dont ils seront bientôt à même d'apprécier toute l'étendue.

Paris, le 9 septembre 1825.

Signé : L. Becquey, *Directeur général des ponts et chaussées et des mines, président la Commission;* E. Halgan, *Contre-amiral;* de Prony, *Inspecteur général des ponts et chaussées;* Arago, de l'Académie des sciences; Sganzin, *Inspecteur général des ponts et chaussées;* Rolland, *Inspecteur général des constructions navales;* Tarbé de Vauxclairs, *Inspecteur général des ponts et chaussées;* Mathieu, de l'Académie des sciences; Fresnel, *Secrétaire de la Commission.*

Nº XX (C).

TABLEAU

DE LA DISTRIBUTION GÉNÉRALE DES FEUX SUR LES CÔTES DE FRANCE.

NOTA. On a marqué d'un astérisque chacun des phares existants, et d'un double astérisque le seul phare établi jusqu'à présent d'après le nouveau système.

NUMÉROS.	PHARES du PREMIER ORDRE.	PHARES du DEUXIÈME ORDRE.	PHARES du TROISIÈME ORDRE.	FEUX DE PORT.
		CÔTES DE LA MANCHE.		
				Dunkerque.
			* *Dunkerque* : feu à courtes éclipses.	
			Gravelines : feu fixe.	
1	* *Calais* : feu tournant, seize demi-lentilles.			
2	*Gris-Nez* : feu fixe.			
				Boulogne. Étaples. L'Authie.
			* *Cayeux*, à l'entrée de la Somme : feu à courtes éclipses.	
			* *Dieppe* : feu fixe.	
3	* *Ailly* : feu tournant, huit lentilles.			
				Saint-Valery-en-Caux. Fécamp.
4	*Cap d'Antifer* : feu fixe.			
5	* *La Hève* : deux feux fixes.			
			* *Honfleur* : feu fixe.	
			Embouchure de l'Orne : feu à courtes éclipses.	
				Le Havre. Honfleur. La Hougue.
6	* *Barfleur* : feu tournant, seize demi-lentilles.			
				Cherbourg.
7	*Cap la Hague* : feu fixe.			
		Cap Carteret : feu tournant, seize demi-lentilles.		

N° XX (C).

NUMÉROS.	PHARES du PREMIER ORDRE.	PHARES du DEUXIÈME ORDRE.	PHARES du TROISIÈME ORDRE.	FEUX DE PORT.
		CÔTES DE LA MANCHE (suite).		
			Granville : feu fixe d'un mètre.	
			Sur le fort de la Conchée ou sur l'une des autres îles situées devant la rade de Saint-Malo : feu à courtes éclipses.	Saint-Malo.
8	* *Cap Fréhel* : feu tournant, seize demi-lentilles.			Entrée de Saint-Brieuc.
9	*Brehat* : feu fixe.			Morlaix.
10	*L'île de Bas* : feu tournant, huit lentilles.			
		CÔTES DE L'OCÉAN.		
11	* *Ouessant* : feu fixe.	*Saint-Matthieu* : feu tournant, seize demi-lentilles. *L'île de Sein* : feu à courtes éclipses.		
12	*Bec du Ras* : feu fixe.			Audierne.
13	*Penmarc'h* : feu tournant, seize demi-lentilles.		*L'île de Penfret*, faisant partie des Glénans : feu à courtes éclipses.	Loctudy. Rivière de Quimper. Concarneau.
14	*L'île de Groix*, au fort de la Croix : feu fixe.			Port-Louis. Rivière de Crac'h. Entrée du Morbihan. L'île d'Hoëdic, à la pointe nord-est. Penerf.

N° XX (C).

NUMÉROS.	PHARES du PREMIER ORDRE.	PHARES du DEUXIÈME ORDRE.	PHARES du TROISIÈME ORDRE.	FEUX DE PORT.
		CÔTES DE L'OCÉAN (suite).		
15	*Belle-Île*, au Goulfart : feu tournant, huit lentilles.			
		Le Four : feu tournant, seize demi-lentilles.		
			Tours d'Aiguillon : deux feux fixes.	
		Le Pilier : feu à courtes éclipses.		
16	*L'île Dieu*, sur la tour Saint-Sauveur : feu fixe.			
				Saint-Gilles.
			* *Les Sables* : feu à courtes éclipses.	
17	* *Tour des Baleines* : feu tournant, seize demi-lentilles.			
				Saint-Martin.
				Le Lavardin. (Tour d'une exécution difficile.)
				La Rochelle.
18	* *Tour de Chassiron* : feu fixe.			
				Île d'Aix.
19	** *Tour de Cordouan* : feu tournant, huit lentilles.			
				Royan.
			Pointe de Grave : feu fixe.	
			Bassin d'Arcachon : feu fixe.	
20	*Biarritz* : feu tournant, seize demi-lentilles.			
				Socoa, près St-Jean-de-Luz.
		CÔTES DE LA MÉDITERRANÉE.		
21	*Le cap Béarn*, près de Port-Vendres : feu fixe.			
				Port-Vendres.
				Collioure.
				Fort de la Nouvelle.

N° XX (C).

NUMÉROS.	PHARES du PREMIER ORDRE.	PHARES du DEUXIÈME ORDRE.	PHARES du TROISIÈME ORDRE.	FEUX DE PORT.
		CÔTES DE LA MÉDITERRANÉE (suite).		
22	*Le fort Brescou* ou *la butte d'Agde :* feu tournant, huit lentilles.			
			* *Cette :* feu fixe. *Aygues-Mortes :* feu à courtes éclipses.	
23	*Tour de Saint-Genest :* feu fixe.			
				Port-de-Bouc ou Martigues.
24	*L'île Planier :* feu tournant, seize demi-lentilles.			
				Marseille.
25	*Le cap Sicié :* feu fixe.			
				Cap Sepet.
			Île de Porquerolles, à la pointe voisine des îles Seraignet : feu à courtes éclipses. *Île du Levant*, extrémité orientale : feu fixe.	
26	*Le cap Camarat :* feu tournant, huit lentilles.			
27	*La Garouppe :* feu fixe.			

[Bien que les bases principales de ce projet aient été maintenues dans l'exécution, il a reçu toutefois, par suite des enquêtes, de très-larges développements, sommairement indiqués dans l'*Introduction*, à la Section des phares.]

N° XX (D).

CIRCULAIRE

ADRESSÉE

PAR LE DIRECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES AUX PRÉFETS DES DÉPARTEMENTS MARITIMES[*].

Paris, le 2 juin 1826.

Monsieur le Préfet, j'ai l'honneur de vous adresser. . . . . exemplaires du Rapport de M. le contre-amiral de Rossel, contenant l'exposition du système adopté par la Commission des phares pour éclairer les côtes de France. Une carte de ces côtes, jointe au mémoire, présente l'indication de la nature et de l'emplacement de chacun des phares du premier, du deuxième et du troisième ordre : on n'y a pas marqué les feux de port, dont le nombre n'est point limité et pourra être augmenté autant que les besoins de la navigation l'exigeront.

Je vous prie, Monsieur le Préfet, de vouloir bien distribuer ces exemplaires aux officiers de port, aux marins et aux fonctionnaires que vous jugerez les plus propres à donner des avis utiles et des renseignements précis sur les besoins de la navigation maritime dans votre département. J'en adresse directement à MM. les ingénieurs et aux chambres de commerce. J'en ai remis à Son Exc. le Ministre de la marine un nombre d'exemplaires suffisant pour être distribué à plusieurs officiers de la marine royale, aux chefs d'administration des ports militaires et aux écoles d'hydrographie.

Les moyens d'éclairage adoptés par la Commission des phares ont été soumis à de nombreuses expériences, qui ont démontré leur supériorité. Le système général de la distribution sur nos côtes des feux très-variés qu'ils procurent a été l'objet d'une discussion approfondie. Toutes les parties du

[*] Voir l'Annuaire du corps des ponts et chaussées pour 1827, p. 248.

système s'enchaînent de telle sorte, qu'un seul changement dans les phares du premier ou du deuxième ordre en nécessiterait beaucoup d'autres, tant pour conserver entre les feux la diversité qui doit empêcher de les confondre, que pour maintenir un juste rapport entre leurs intensités et leurs distances respectives. Toutefois, j'ai pensé que, au moment où ce système venait de recevoir un commencement d'exécution, il pourrait être avantageux pour son perfectionnement de le faire connaître au public et surtout aux marins : ce nouvel examen pourra provoquer d'utiles observations, et procurer de nouveaux renseignements, dont la Commission des phares s'empressera de profiter. N° XX (D).

Je présume que les modifications utiles se borneront à l'addition de quelques phares du troisième ordre sur des points de la côte dont les besoins particuliers ou les avantages maritimes, comme lieux de refuge, ont pu n'être pas entièrement connus de la Commission. Dans le Rapport de M. de Rossel, elle provoque elle-même la demande de tous les feux de port qui seraient reconnus nécessaires.

Je vous prie de recueillir les avis des marins qui auront lu le mémoire de M. de Rossel, en leur recommandant de ne pas perdre de vue l'ensemble du système, s'ils veulent y apporter quelques modifications; car il pourrait se faire que, frappés de certains intérêts locaux, ils demandassent, en faveur du cabotage, des changements désavantageux à la grande navigation.

Veuillez bien, Monsieur le Préfet, soumettre leurs observations à un examen préalable, et me les adresser avec votre avis et celui que vous aura donné M. l'ingénieur en chef. Je vous prie aussi de m'accuser réception de la présente.

XXI.

FANAUX CATADIOPTRIQUES

À RÉFLEXION TOTALE.

N° XXI (A).

NOTICE DE L'ÉDITEUR

SUR LES APPAREILS CATADIOPTRIQUES

D'AUGUSTIN FRESNEL.

Parmi les nombreuses lacunes que présentent les écrits d'Augustin Fresnel relatifs à son Nouveau système de phares, nous avons déjà signalé, comme la plus notable, l'absence de tout mémoire descriptif de ses *appareils catadioptriques à réflexion totale.* Un croquis, deux épures, des minutes de calculs entremêlés de rares et courtes observations, trois Notes concernant l'essai de petits fanaux de cette espèce, plus quelques pièces de comptabilité et de correspondance, tels sont les seuls renseignements que fournissent les papiers de notre auteur sur la féconde et dernière invention qui a si heureusement couronné son œuvre. Nous nous sommes ainsi trouvé dans la nécessité de faire précéder d'une Notice explicative le peu que nous pouvions utilement reproduire de ce qu'il a laissé sur un sujet d'un si haut intérêt. De là sont résultées des répétitions de plusieurs passages de notre Introduction; mais ces redites devenaient presque inévitables dans une publication posthume de pièces détachées, qu'il fallait accompagner de quelques commentaires pour ne pas trop multiplier les renvois.

N° XXI (A).

I

L'invention des fanaux catadioptriques à réflexion totale date de 1825. Elle fut provoquée par le comte Chabrol de Volvic, alors préfet de la Seine, qui avait témoigné à Augustin Fresnel le désir d'appliquer à l'éclairage des quais du canal Saint-Martin des appareils d'un effet plus puissant que celui des réverbères ordinaires de ville.

L'idée d'éclairer une voie publique par des feux d'un vif éclat, et que l'on eût en conséquence assez largement espacés, prêtait sans doute à de sérieuses objections. On n'en trouve toutefois nulle trace dans la correspondance de notre auteur. Il semblerait ainsi avoir accepté, sans les discuter, les données de ce programme, et d'autant plus facilement, peut-être, que l'étude qui lui était demandée se rattachait à un autre problème, sous quelques rapports plus simple, dont la Commission des phares allait avoir à s'occuper pour l'amélioration de l'éclairage des entrées de ports maritimes.

Le foyer des appareils du canal Saint-Martin pouvait être occupé par un bec ordinaire de lampe d'Argant, ou par un bec à gaz d'effet équivalent. Le problème optique se trouvait d'ailleurs déjà résolu, dans le système lenticulaire, pour la partie principale, à laquelle s'appliquait très-bien un tambour dioptrique échelonné, de 20 à 25 centimètres de diamètre. Quant à la partie accessoire, qui devait recueillir et utiliser les rayons focaux divergeant au-dessus et au-dessous du tambour central, sa composition semblait, au premier abord, présenter de graves difficultés. Les combinaisons diacatoptriques ou simplement catoptriques de cette partie des grands appareils de phares devenaient en effet pratiquement inapplicables à d'aussi petits fanaux. Une disposition toute nouvelle était donc à imaginer. Il est probable au surplus que sa recherche n'aura pas demandé de bien longues méditations à un esprit aussi éminemment inventif que celui de Fresnel. Il sera sans doute assez promptement arrivé à l'idée de remplacer la *réflexion spéculaire* par la *réflexion totale*, ou, en d'autres termes, de substituer aux cours de *miroirs étamés*, plans ou concaves, des *prismes* ou *anneaux de verre catadioptriques*.

Dans ce nouveau système, le profil méridien des prismes ou anneaux de verre devait être déterminé d'après la double condition que les rayons focaux

incidents fussent parallèlement réfléchis à l'intérieur, puis réfractés, à la sortie, parallèlement au plan de la zone à éclairer. N° XXI (A).

Suivant une première étude (dont la planche XI offre la réduction à moitié), le profil générateur des anneaux catadioptriques eût été un quadrilatère mixtiligne, ayant le côté intérieur, ou d'incidence, en arc de cercle décrit du foyer comme centre, le côté extérieur perpendiculaire à la direction d'émergence, le côté réflecteur en courbe déterminée par la condition de la réflexion des rayons lumineux perpendiculairement au côté extérieur, et le quatrième côté rectiligne.

D'après cette disposition, les rayons focaux n'eussent éprouvé de déviation ni à l'entrée, ni à la sortie du verre, ce qui simplifiait les calculs. Mais, outre que la coupole prenait trop d'élévation, la taille exacte des anneaux à quatre faces présentait beaucoup de difficultés, et il est à croire que cette double considération aura déterminé l'adoption du profil triangulaire des planches XII et XIII.

Comme il ne s'agissait que d'éclairer la ligne des quais et le canal, le système optique pouvait être réduit à une demi-circonférence, sauf l'addition d'un miroir concave à courbure sphérique pour renvoyer au foyer les rayons lumineux divergeant dans l'hémisphère extérieur. Mais, eu égard à l'espacement des fanaux, il devenait nécessaire de renforcer leur éclat dans la direction longitudinale. A cet effet, l'appareil a été complété de deux oreilles ou joues, formées chacune d'une demi-lentille échelonnée, dont les éléments, se raccordant avec ceux de la partie antérieure, ont été engendrés par la révolution de la section méridienne autour de son axe équatorial.

Il est enfin à remarquer que, pour un éclairage de ce genre, les rayons projetés ne devaient pas, comme à la mer, être resserrés dans une zone horizontale, et qu'il fallait tenir compte dans la taille, ou dans le montage des verres, de la nécessité de produire une suffisante diffusion de la lumière émergente.

Le problème se trouvait ainsi complétement résolu, quant aux combinaisons optiques.

Restaient à surmonter les difficultés d'exécution.

On conçoit qu'elles se présentaient d'autant plus ardues, que la forme *polygonale,* admise aux débuts de la fabrication des grands appareils lenticulaires, ne pouvait plus l'être sur une aussi petite échelle. Il devenait indispensable,

N° XXI (A). sous le double rapport théorique et pratique, que tous les éléments optiques des nouveaux fanaux fussent exécutés dans la forme normale, c'est-à-dire *annulaire*.

Ce n'est pas ici le lieu de nous étendre sur les longs et pénibles efforts que coûta à Fresnel la réalisation de son ingénieuse conception. Qu'il nous suffise de dire que, malgré le déplorable état d'épuisement où il se trouvait déjà réduit, il aborda courageusement l'organisation en régie de cette fabrication sans précédents.

Au commencement de 1827, quatre petits appareils catadioptriques de 20 centimètres de diamètre intérieur se trouvaient exécutés, mais ils ne purent être mis à l'essai, sur les quais du canal Saint-Martin, qu'après la mort de l'inventeur.

Ainsi que nous venons de le faire pressentir, le résultat fut peu satisfaisant. au point de vue des conditions spéciales à remplir. Ce n'était pas en effet avec des foyers de lumière espacés à 75 ou 80 mètres qu'on pouvait convenablement éclairer une des plus larges voies de la capitale, quel que fût d'ailleurs leur éclat. Mais si ces ingénieux appareils ne répondaient qu'imparfaitement à cette destination, ils offraient évidemment, dans leur partie antérieure, la combinaison la plus heureuse pour les fanaux d'entrée de port. Aussi Fresnel n'eut pas plus tôt arrêté le projet des fanaux catadioptriques du canal Saint-Martin, qu'il s'occupa de l'application du même système à l'éclairage maritime.

II

Les conditions auxquelles doivent satisfaire les fanaux d'entrée de port sont généralement assez simples. Il suffit d'ordinaire qu'ils projettent uniformément sur l'horizon, dans l'espace angulaire à éclairer, une lumière fixe pouvant être facilement aperçue, en temps non brumeux, à la distance de 10 à 12 kilomètres. Sous ce dernier rapport, et eu égard au volume de la flamme focale, il parut nécessaire d'augmenter les dimensions de l'appareil. Son diamètre fut en conséquence porté à 30 centimètres.

C'est d'après cette donnée principale qu'ont été calculés les éléments optiques du fanal de quatrième ordre figuré sur la planche XIII.

Dans les circonstances ordinaires, où l'on n'a pas à éclairer plus des trois

quarts de l'horizon, un quart de l'appareil est dégarni de verres et occupé par le réservoir d'une lampe à niveau constant. N° XXI (A).

Pour le cas exceptionnel où l'horizon entier doit être éclairé, on peut recourir à l'emploi d'une lampe mécanique de Carcel, ou d'une lampe hydrostatique portée par un plateau glissant verticalement le long de tringles directrices.

L'inventeur put à peine faire commencer en régie la taille des verres d'un premier fanal d'entrée de port. Le temps et les forces lui firent également défaut pour appliquer cette nouvelle conception aux phares des ordres supérieurs. On a toutefois lieu de s'étonner qu'il n'ait laissé aucune note à ce sujet. Très-probablement il aura été arrêté, dès l'abord, par la considération du fort accroissement de dépense que devait nécessiter la substitution des anneaux prismatiques de verre aux miroirs étamés, et il aura cru devoir attendre, pour introduire cette amélioration capitale dans ses grands appareils, qu'une meilleure situation financière permît de relâcher un peu les entraves que lui imposait la pénurie du budget des phares.

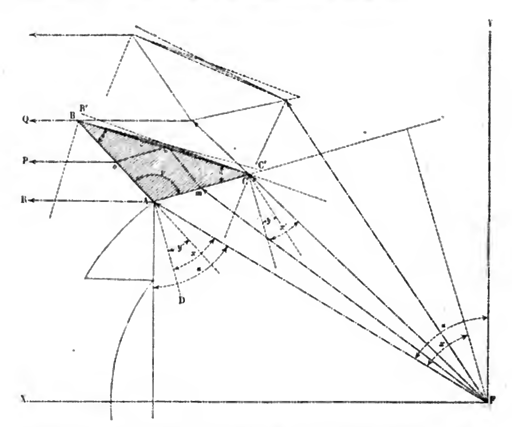
III

Les calculs d'Augustin Fresnel relatifs à ses appareils catadioptriques à réflexion totale ne sont pas accompagnés des équations générales auxquelles conduit la solution directe du problème, et se réduisent à des approximations successives obtenues à l'aide des premières équations de condition. Le petit nombre d'observations qui s'y trouvent intercalées ne nous ont pas paru d'ailleurs, à l'exception d'une seule, assez développées pour être utilement reproduites.

Comme cette dernière partie de notre publication a plutôt pour objet l'histoire de l'invention du Nouveau système de phares que ses applications diverses, nous croyons devoir nous borner ici, en l'absence d'un texte de notre auteur, à quelques indications sommaires sur les données et la solution du problème physico-géométrique dont il s'agit.

Soit ABC la section méridienne du premier anneau prismatique d'une coupole catadioptrique surmontant un tambour dioptrique illuminé par le

N° XXI (A). foyer F. Si l'on suppose rectiligne le côté d'incidence AC, ainsi que le côté d'émergence AB, on reconnaîtra, à l'inspection de la figure :



1° Que tout rayon incident F*m*, après une première réfraction à sa rencontre avec AC, devra être réfléchi en *n* parallèlement à ce même côté, puis réfracté au point d'émergence *o* suivant une direction *o*P, parallèle au plan équatorial de l'appareil ; et qu'ainsi, aux deux limites, le rayon focal inférieur suivra la ligne brisée FABQ, et le rayon supérieur, la trajectoire FCAR ;

2° Que le côté réflecteur B*n*C doit être une courbe concave à l'intérieur, dont la tangente extrême en B formera la base du triangle isocèle ABC'.

Eu égard aux petites dimensions de la section mixtiligne AB*n*C relativement à la distance focale, la courbe B*n*C se confondra, à très-peu près, avec l'arc de cercle déterminé par les deux tangentes extrêmes BC' et CB', et en conséquence on pourra, sans perte appréciable d'effet utile, substituer cet arc de cercle à la courbe théorique, dont la taille exacte serait pratiquement inexécutable.

Le premier problème à résoudre consiste à calculer les directions des côtés rectilignes AB et AC, ou l'angle d'incidence FAD, de la valeur duquel elles se déduisent immédiatement. Mais une donnée est encore nécessaire pour ce calcul, et ce sera, selon les circonstances, l'un des deux côtés rectilignes du profil générateur ABnC, ou l'ouverture angulaire AFC. N° XXI (A).

Cela posé, si l'on désigne par x l'angle d'incidence au point A, par y l'angle réfracté correspondant, par α l'angle compris entre le premier rayon incident et l'axe vertical FY de l'appareil, et par r l'indice de réfraction du verre à employer, on a, pour déterminer x et y, les deux relations :

$$\text{(a)} \qquad \sin\alpha = r \sin y;$$
$$\text{(b)} \qquad y = 2x - \alpha.$$

Éliminant y, on arrive à l'équation

$$\sin^4 x - \frac{1}{r}\sin\alpha\sin^3 x - \left(\frac{4r^2-1}{4r^2}\right)\sin^2 x + \frac{1}{2r}\sin\alpha\sin x + \frac{1}{4}\sin^2\alpha = 0.$$

Cette équation n'est utilement applicable qu'aux vérifications; mais on arrive assez promptement à déterminer, à quelques secondes près, la valeur de x, en partant d'une première valeur approchée, et procédant par voie de fausses positions, à l'aide des deux équations (a) et (b).

Par la valeur ainsi trouvée de l'angle x se trouvent déterminées les deux directions AB et AC; la longueur AC étant d'ailleurs donnée, il ne s'agit plus, pour compléter le tracé du triangle rectiligne ABC, que de calculer l'un des deux angles ACB ou ABC.

Les relations entre les trois angles de ce triangle résultent : 1° des directions des tangentes extrêmes BC′ et CB′, également inclinées sur la corde BC; 2° de la valeur des angles x' et y' d'incidence et de réfraction au point C. De ces relations se déduit l'angle ACB, qui détermine la position du sommet B et, par suite, le tracé des deux tangentes BC′ et CB′.

Enfin, des positions calculées des deux tangentes extrêmes on déduit la longueur du rayon, ainsi que les coordonnées du centre de courbure de l'arc BnC, ce qui complète les données nécessaires au tracé de la section génératrice du premier anneau prismatique.

La partie supérieure de la figure indique suffisamment comment du profil du premier anneau on passe au tracé des suivants; mais nous devons consi-

N° XXI (A). gner textuellement ici une observation essentielle de l'inventeur, relativement à la taille de ces pièces optiques :

« La difficulté de roder [le verre] en ligne droite m'a décidé, dit-il, « à substituer des arcs de cercle très-plats aux arêtes des deux cônes « intérieur et extérieur de chaque anneau. J'ai pris 800 millimètres « pour rayon commun de tous ces arcs de cercle. Ils sont convexes sur « la face intérieure et concaves sur la face extérieure, en sorte que la « convergence des rayons lumineux produite par la première est à peu « près compensée par la petite divergence que produit la seconde. Les « calculs ci-dessus déterminent les coordonnées des centres de cour- « bure rapportées à l'axe et aux plans horizontaux passant par les « arêtes extrêmes des anneaux. En me servant des mots *au-dessus* et « *au-dessous*, j'ai supposé ces anneaux renversés, c'est-à-dire tournés « comme ils le sont quand on exécute les deux plus petites faces. »

IV

Les explications qui précèdent peuvent nous dispenser de produire des légendes détaillées pour les planches XI, XII et XIII, que nous avons dressées d'après les dessins originaux de notre auteur.

La planche XII, qui au premier aspect paraît un peu confuse, est le *fac-simile* d'une double étude pour les appareils originairement destinés à l'éclairage des quais du canal Saint-Martin.

La première étude présente un système optique disposé comme il suit :

1° La partie dioptrique antérieure comprend un *demi-manchon* central de 25 centimètres de diamètre, à profil lenticulaire, surmonté de deux demi-anneaux à section triangulaire.

2° La demi-coupole est formée de cinq demi-anneaux catadioptriques ayant leur foyer à 12 millimètres au-dessus de celui de la pièce centrale.

3° La partie dioptrique des *joues lenticulaires* se compose de trois éléments concentriques; la partie catadioptrique ne comprend que quatre segments d'anneaux, attendu que leur excentricité par rapport à la partie dioptrique a nécessité le retranchement du cinquième.

4° Un réflecteur concave, à courbure sphérique, a été indiqué pour renvoyer au centre de l'appareil les rayons focaux divergeant dans l'hémisphère postérieur. N° XXI (A).

La seconde étude, qui seule a été mise à exécution, reproduit les dispositions de la première avec les différences suivantes :

1° Le diamètre intérieur a été, comme nous l'avons dit, réduit à 20 centimètres.

2° Dans la partie dioptrique antérieure le manchon central est placé entre deux demi-anneaux à section prismatique, et le côté intérieur du triangle générateur de la pièce supérieure est légèrement incliné en dehors.

3° Les éléments catadioptriques ne sont qu'au nombre de quatre pour la demi-coupole, et de trois pour les joues.

L'appareil catadioptrique de quatrième ordre dont la section méridienne est figurée sur la planche XIII offre des dispositions plus simples et plus régulières.

Il comprend :

1° Un tambour dioptrique divisé en cinq zones annulaires;

2° Une coupole de cinq anneaux catadioptriques ayant même foyer que la partie dioptrique;

3° Trois anneaux catadioptriques inférieurs, dont les foyers, eu égard à l'occultation du bec de lampe, sont respectivement placés à 6, 10 et 15 millimètres au-dessus du foyer principal.

Il est presque superflu de faire observer que la disposition ovoïde n'est applicable qu'aux petits appareils, dont le service se fait extérieurement. Pour les phares, dans l'intérieur desquels il est nécessaire que l'on puisse pénétrer, les pièces catadioptriques de la section inférieure doivent être échelonnées verticalement.

N° XXI (B).

DÉTAIL ESTIMATIF D'UN RÉVERBÈRE CATADIOPTRIQUE

[DE $0^m,20$ DE DIAMÈTRE INTÉRIEUR]

POUR L'ÉCLAIRAGE DES QUAIS DU CANAL SAINT-MARTIN [*].

Prismes réfléchissants :

		cent.	cent. c.	
Les deux segments.	Largeur ou corde...........	35,4	637	
	Hauteur ou flèche $12^c \times \frac{3}{2}$....	18,0		
Partie comprise entre les deux segments.	Largeur..	8,0	96	
	Hauteur..	12,0		
			733	
Il faut multiplier cette projection par 2.............			2	
			1,466	
Partie cylindrique d'un rayon moyen de 14 centimètres :				
	$\frac{1}{2}$ circonférence + 6...............	50,0	600	
	Hauteur.........................	12,0		
Superficie totale (pour une face seulement)..........			2,066	$371^f,88^c$
à $0^f,18^c$ par centimètre carré..............			0,18	
Pour le réflecteur de cuivre plaqué................				28, 12
Total pour la partie optique....................				$400^f,00^c$
Bec à gaz et armature du réverbère...............				50, 00
Lanterne de cuivre.............................				100, 00
TOTAL..................				$550^f,00^c$

[*] En l'absence de toute notice d'Augustin Fresnel sur ses *fanaux catadioptriques à réflexion totale*, nous avons cru devoir reproduire, à titre de renseignement historique, cette première évaluation approximative, d'après une minute autographe signée et datée. — On remarquera qu'il n'y est fait nulle mention d'*oreilles* ou *lentilles latérales*, d'où l'on peut in-

Il paraît donc, d'après ce détail estimatif, que le prix de chaque réverbère n'excédera pas 600 francs. N° XXI (B).

Le 27 janvier 1826.

A. FRESNEL.

---

férer que, à l'époque du 27 janvier 1826, l'inventeur n'avait pas encore songé à recourir à l'emploi de ces pièces additionnelles. Mais, dans une évaluation subséquente (crayonnée au revers du second feuillet de la première), les *oreilles* sont comptées, et le prix du petit fanal se trouve porté de 550 à 650 francs.

N° XXI (C).

EXPÉRIENCES

SUR LES PETITS FANAUX CATADIOPTRIQUES

DESTINÉS À L'ÉCLAIRAGE DES QUAIS DU CANAL SAINT-MARTIN [(a)].

N° XXI (C)[1].

EXPÉRIENCE PHOTOMÉTRIQUE FAITE PAR A. FRESNEL,

LE 23 DÉCEMBRE 1826.

Ce petit réverbère était illuminé par la lampe de Carcel en plein effet, et les intensités de lumière ont été mesurées avec mon quinquet. aussi en plein effet, et qui donne alors un peu plus de lumière que la lampe de Carcel, parce que son bec est plus gros.

La joue de gauche, qui était la mieux posée, a donné une lumière équivalente à trente-quatre fois celle du grand quinquet : pour cette direction la demi-lentille, dont le feu était beaucoup plus plongeant, fournissait peu de lumière. J'ai cherché le maximum de clarté.

La joue de droite n'a donné pour son maximum que 29,63, c'est-à-dire environ trente forts becs de quinquet.

(a) Les petits appareils de 20 centimètres de diamètre dont il s'agit ici avaient été exécutés en régie, dans l'atelier de M. Touzé, opticien, par M. Tabouret, conducteur des ponts et chaussées, attaché au service central des phares. Quatre appareils de cette espèce furent terminés dans le courant de juin 1827, peu avant la mort de Fresnel. (Voyez la planche XII.)

La barre de feu verticale que présente le *réflecteur* [a] a été trouvée égale à 6, 5, c'est-à-dire à six becs et demi. Il faut remarquer que les anneaux des différents étages envoyant des feux diversement plongeants, ce maximum n'est pas égal à la somme de ce que tous les anneaux produisent séparément. N° XXI (C)[1].

L'anneau réfractant n° 2 vaut un peu plus d'un bec.

Le plus grand anneau réfléchissant, celui qui vient immédiatement au-dessus, donnait sensiblement autant de lumière que le quinquet.

Le dernier des anneaux réfléchissants, c'est-à-dire le plus petit, équivalait à peu près à un quart de bec.

En couvrant tous les anneaux réfléchissants, j'ai trouvé, pour les deux anneaux réfractants, 5,4.

N° XXI (C)[2].

EXPÉRIENCE SUR LE CÔNE DE LUMIÈRE

PRODUIT PAR L'OREILLE DU FANAL CATADIOPTRIQUE

DESTINÉ AU CANAL SAINT-MARTIN [b].

[31 janvier 1827.]

Ce fanal était éclairé par la lampe de Carcel, dont la flamme était bien développée, quoique sans excès. Le grand quinquet a servi d'*unité de lumière*, comme dans les expériences précédentes.

		DISTANCES d'équiombre.	INTENSITÉS.
Dans la direction de l'axe ou du maximum de lumière	Fanal	$7^m,04$	31,72
	Grand quinquet.	$1^m,25$	[1,00]

[a] C'est-à-dire le système des anneaux catadioptriques disposés en demi-coupole à la partie supérieure de l'appareil.

[b] Ces *oreilles* ou *joues*, formées par deux lentilles catadioptriques, avaient pour objet de projeter deux faisceaux de lumière dans le sens longitudinal. (V. la Notice de l'éditeur, I.)



N° XXI (C)². A est la direction de l'axe de l'*oreille* ou de son maximum d'éclat. *b* était à 9 degrés de l'axe (?).

b 0m,54 *c* 0m,60 A 0m,45 *l* 0m,65 *d*

2m,24

3,30 21,36 31,72 23,99 5,38

l indique le point d'où la demi-lentille paraissait le mieux éclairée.

b, c, d sont d'autres points d'observation pris à différentes distances du maximum. Au point *d*, en perdant les rayons de l'oreille, on commençait à recevoir ceux de la barre de feu.

		DISTANCES d'équiombre.	INTENSITÉS.
b.....	Fanal............	7m,29.......	3,30
	Quinquet.........	4m,01	
c.....	Fanal............	7m,21.......	21,36
	Quinquet..........	1m,56	
Maximum..A.....	Fanal............	7m,04.......	31,72
	Quinquet.........	1m,25	
l.....	Fanal............	7m,20.......	23,99
	Quinquet.........	1m,47	
d.....	Fanal............	7m,24.......	5,385
	Quinquet.........	3m,12	

N° XXI (C)[3].

NOTE

SUR L'ESSAI DES FANAUX CATADIOPTRIQUES À RÉFLEXION TOTALE DESTINÉS À L'ÉCLAIRAGE DES QUAIS DU CANAL SAINT-MARTIN[(*)].

[Ville-d'Avray, fin du mois de juin 1827.]

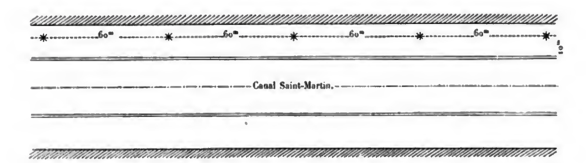
Faire l'essai des réverbères de M. le Préfet sur le canal Saint-Martin, en employant des lampes au lieu de gaz. Il faut que le calibre des becs soit égal à celui de ma lampe de Carcel, à peu près, et que ces lampes soient aussi bonnes que celles des petits réflecteurs de M. Pixii, dont les flammes se soutiennent fort bien.

(*) Cette Note, tracée au crayon, avec une netteté remarquable, sur un agenda de Léonor Fresnel, est le *dernier écrit* de son frère. C'est aussi la dernière, et presque la seule instruction que l'état d'épuisement où se trouvait réduit Augustin lui ait permis de donner à l'adjoint trop tardivement appelé à le seconder dans la direction du service des phares.

L'essai qui fait l'objet de la présente Note, de la fin de juin 1827, fut retardé jusqu'au mois de septembre suivant par la mort d'Augustin, arrivée le 14 juillet.

La supériorité d'effet utile et économique des fanaux catadioptriques comparés aux meilleurs réverbères de ville avait été suffisamment constatée par des expériences photométriques; mais les nouveaux appareils ne répondaient pas aux conditions de l'éclairage urbain. Ainsi que nous l'avons fait observer dans notre Introduction, ils satisfaisaient beaucoup mieux au programme des phares qu'aux exigences de l'éclairage du canal Saint-Martin, et l'administration municipale dut renoncer à sacrifier à des considérations d'économie l'avantage d'obtenir, à l'aide de foyers moins puissants, mais plus rapprochés, une distribution moins inégale de lumière.

N° XXI (C)[3]. On pourrait porter à 70 mètres l'intervalle des quatre réverbères, qu'il faut placer sur le même quai, à la suite les uns des autres.



Après avoir fait cet essai sur le canal Saint-Martin, on pourrait essayer les mêmes appareils sur les boulevards.

Demander à M. Verneur l'autorisation de faire cette expérience...

[Suivent ces mots, de la main de Léonor Fresnel :
«Prévenir M. Verneur et M. le Préfet de l'état de santé d'Augustin.»]

XXII.

EXPÉRIENCES

SUR

L'APPLICATION DE DIVERSES ESPÈCES DE GAZ

À L'ILLUMINATION DES PHARES LENTICULAIRES [a].

XXII (A).

BEC À GAZ À TROIS COURONNES CONCENTRIQUES.

N° XXII (A)[1].

EXPÉRIENCE SUR L'EFFET D'UNE GRANDE LENTILLE ANNULAIRE ILLUMINÉE PAR UN BEC À TROIS COURONNES CONCENTRIQUES PERCÉES DE SEPT RANGÉES DE TROUS.

[19 juin 1823.]

Distances d'équiombre au carton.....	Bec ordinaire de lampe.......	$2^m,97$
	Grande lentille.............	$97^m,00$

Ainsi l'effet de la grande lentille équivalait à $(\frac{97}{2,97})^2$ fois celui du bec

---

[a] Les quatorze extraits que nous produisons sous le numéro collectif XXII comprennent les principaux résultats des nombreuses expériences faites par Augustin Fresnel, de 1823 à 1826, sur la substitution du gaz à l'huile, pour l'illumination de ses appareils lenticulaires, essais qu'il n'eut pas le temps d'appliquer et qui n'ont pas été repris.

D'après une note du Mémoire N° VIII, § 33 (p. 117 de ce volume), ces expériences auraient eu au début pour objet spécial de simplifier le service des nouveaux phares, par la suppression

N° XXII (A)[1]. ordinaire alimenté par de l'huile surabondante, c'est-à-dire à 1067 becs ordinaires.

Dans l'expérience du 22 mars 1821, la grande lentille non annulaire (*polygonale*), armée de l'ancien bec quadruple, donnait à $42^m,40$ la même quantité de lumière que le bec ordinaire à $0^m,90$. Elle équivalait donc à $\left(\frac{42,4}{0,9}\right)^2$ ou à 2219 becs.

Comme je ne me suis pas assuré, dans l'expérience du bec à gaz, que tout était disposé de manière à produire le maximum de lumière, j'estime que l'intensité de lumière donnée par ce bec, alimenté avec du gaz de charbon de terre, équivaut à la moitié de celle que donne le bec quadruple, à l'huile.

Le gaz provenant de la distillation de l'huile produisant une flamme deux fois environ plus brillante, ce bec à gaz donnera une intensité égale à celle du bec quadruple, et un éclat plus long dans le rapport de 13 à 9 environ, puisqu'il a $0^m,13$ de diamètre.

Ce bec à gaz dépense 60 pieds cubes par heure pour des flammes de 7 pouces de hauteur, c'est-à-dire vingt fois autant qu'un bec à gaz ordinaire, pour lequel les particuliers payent 4 centimes par heure.

---

des lampes mécaniques. Mais bientôt Fresnel parut s'attacher surtout à l'idée d'augmenter l'amplitude des éclats des grandes lentilles, ainsi que l'intensité des feux fixes, en profitant, à cet effet, de la facilité qu'il trouvait à accroître le diamètre de la flamme focale produite par un bec à gaz à couronnes concentriques. C'est ce qui ressort de divers passages de sa correspondance, de ses rapports et de ses notes. (Voyez p. 155, 156, 202, 212, 218, 232, etc.) Nous croyons toutefois qu'il avait fini par hésiter entre ce moyen de prolonger l'apparition des éclats, au prix d'un notable sacrifice de lumière, et la combinaison plus économique de faisceaux additionnels projetés par des systèmes conoïdes tournants de miroirs concaves. (V. la lettre N° XV, à M. Robert Stevenson, p. 207.)

La planche VII présente les dessins de deux grands becs à gaz à couronnes concentriques.

Le premier, *à cinq couronnes*, qui est conservé au Dépôt central des phares, a été l'objet des expériences décrites au numéro collectif XXII (B). Le diamètre de la couronne extérieure est de 124 millimètres, c'est-à-dire d'un tiers supérieur à celui des becs de premier ordre à quatre mèches concentriques.

Le deuxième, *à six couronnes*, dont l'extérieure a 133 millimètres de diamètre, a été figuré d'après un dessin autographe d'A. Fresnel. Nous ignorons d'ailleurs si ce bec a été exécuté et mis en expérience.

N° XXII (A)².

EXPÉRIENCE SUR LE BEC À GAZ DE M. SAUVAGE,

(À TROIS COURONNES),

PERCÉ DE TROUS PLUS FINS ET ESSAYÉ AVEC LE GAZ D'HUILE

AU FOYER D'UNE GRANDE LENTILLE.

[16 janvier 1824.]

Ce bec donnait encore beaucoup de fumée et laissait déposer, en très-peu d'instants, sur les rondelles, autour des trous, une épaisse couche de noir de fumée. Les deux flammes extérieures n'étaient blanches que dans une très-petite étendue, et celle du centre était rouge partout, ce qui tenait évidemment au plus grand rapprochement de ses trous et à la moindre quantité d'air qui lui arrivait.

	DISTANCES D'ÉQUIOMBRE au carton.	INTENSITÉS.
Grande lentille	38m,00	939
Bec ordinaire (à huile surabondante)	1m,24	1

Nota. Le bec ordinaire produisait tout l'effet dont il est susceptible. On voit que ce résultat est un peu inférieur à celui qui avait été obtenu, avec le gaz de charbon de terre, dans l'expérience du 19 juin 1823, qui avait donné, avec la même lentille, une intensité de 1067 becs ordinaires.



XXII (B).

ESSAIS

D'UN BEC À GAZ À CINQ COURONNES CONCENTRIQUES.

N° XXII (B)[1].

EXPÉRIENCES

SUR LE NOUVEAU BEC À CINQ COURONNES CONCENTRIQUES,

ALIMENTÉ PAR LE GAZ D'HUILE.

[15 mars 1824.]

Les trois couronnes du centre donnaient de très-belles flammes; mais les deux autres, surtout la cinquième, ou la couronne extérieure, laissaient échapper de longues pointes et de la fumée, ce qui tenait sans doute à de petites fuites ou fentes de ces couronnes, et à ce que leurs trous étaient généralement percés trop gros, surtout ceux de la cinquième.

Une grande lentille *annulaire*, la même qui avait servi dans l'expérience du 9 mars 1823, a été placée devant le bec à gaz, et son effet mesuré avec le bec ordinaire à huile surabondante. — Cette observation a été rendue pénible et inexacte par les courants d'air qui agitaient la lampe.

J'ai d'abord trouvé, pour distance d'équiombre du papier à la lampe, 0m,85; mais je me suis aperçu que le bec était trop haut et que le feu donnait trop bas. Après avoir baissé le bec de 0m,02 environ, on l'a

encore un peu haussé et baissé à plusieurs reprises, et j'ai obtenu les résultats suivants : N° XXII (B)[1].

0m,77		
0m,67		
0m,69 sans la cinquième flamme	Moyenne.......	0m,71
0m,72		

Je prends, pour distance moyenne du papier à la lampe, 0m,72.

La distance correspondante du papier à la lentille était de 38m,30.

Ainsi le bec quintuple, au foyer de la lentille, produisait un effet équivalent à $\left(\frac{38.30}{0.72}\right)^2$ ou à 2830 becs ordinaires.

Dans l'expérience du 9 mars 1823, où la même lentille était éclairée par un bec quadruple alimenté d'huile, j'avais trouvé, avec M. Maritz, 2767 becs, en prenant pour unité une lampe astrale, qui donne moins de lumière que le bec ordinaire à huile surabondante. Ainsi l'on ne peut douter que le bec quintuple, alimenté par le gaz d'huile, ne produise une lumière aussi intense que la lampe à bec quadruple, et même qu'il ne la surpasse, quand les deux couronnes extérieures seront mieux percées, puisque la cinquième ne produisait presque aucun effet dans cette expérience.

N° XXII (B)[2].

EXPÉRIENCE FAITE, À L'HÔPITAL SAINT-LOUIS,

SUR LE BEC À CINQ COURONNES, ALIMENTÉ PAR LE GAZ D'HUILE.

[30 avril 1824.]

Un quart seulement des trous des deux couronnes extérieures étaient percés à une grosseur suffisante; les autres trous des mêmes couronnes étaient trop fins, ce qui faisait que leurs flammes ne pouvaient pas acquérir une hauteur suffisante, même lorsque les robinets étaient entièrement ouverts.

N° XXII (B)[2].

DISTANCES D'ÉQUIOMBRE.

Distance constante de la lentille à la lampe ordinaire alimentée par de l'huile surabondante.......................... 84m,85

			DISTANCES du carton à la lampe.	INTENSITÉS en lampes de Carcel.
Un peu à droite de l'axe de la lentille....			2m,29.......	1448,00
DÉPLACEMENTS DU BEC À PARTIR DE CETTE POSITION :				
+ 0m,06	ou	+ 3° 42'.....	8m,95.......	109,84
+ 0m,07	ou	+ 4° 18'.....	10m,00.......	89,97
+ 0m,075	ou	+ 4° 37'.....	13m,70.......	51,75
— 0m,06	ou	— 3° 42'.....	8m,40.......	123,24

Cette valeur plus forte de l'intensité pour un déplacement égal du bec, et dans un moment où les deux flammes extérieures avaient déjà commencé sans doute à baisser, indique que la première observation n'était point faite dans l'axe, comme je m'en suis aperçu, et qu'il y avait un demi-degré de différence environ. Ainsi l'on aurait pu porter le bec, de ce dernier côté, à cinq degrés au moins de sa position première et avoir encore une intensité de cinquante lampes de Carcel. L'étendue de l'éclat, dans cette limite d'intensité, serait donc de neuf degrés et demi à dix degrés. D'après l'expérience du 27 mars 1821, où la lentille était illuminée par un bec quadruple un peu plus gros que les becs employés à Cordouan, l'éclat, compris entre les intensités de 76,7 lampes de Carcel, avait cinq degrés et demi d'étendue.

D'après les résultats ci-dessus, on voit qu'avec le bec à gaz l'éclat, compris entre des intensités de 90, aurait $2 \times (4° 18') + 30$ ou 9° 6' d'étendue, c'est-à-dire plus d'une fois et demie l'amplitude de l'éclat produit par le bec quadruple et compté entre des intensités de soixante et dix-sept lampes de Carcel. Ainsi il n'y a pas de doute que le bec à gaz à cinq couronnes donnera des éclats égaux (au moins) en durée aux éclipses.

Nota. Ayant remarqué qu'en déplaçant le bec horizontalement on

avait fait varier sa hauteur, dans la dernière observation, j'ai voulu répéter l'avant-dernière, qui répond à $+ 0^m,075$; mais les flammes des deux couronnes extérieures étaient devenues trop courtes. N° XXII (B)[2].

Dans 1 heure 8 minutes le gazomètre est descendu de $0^m,11$ ou 4 pouces. — D'après les calculs de M. Pauper, la section horizontale du gazomètre a 88 pieds carrés de superficie; ainsi un abaissement de 4 pouces ou d'un tiers de pied équivaut à une consommation de 29 pieds cubes. Telle est donc la quantité de gaz consommée par le bec en une heure. Comme les flammes n'avaient pas une hauteur suffisante, on peut la porter à 32 pieds cubes.

Une livre de mauvaise huile donne 16 pieds cubes. La bonne huile de poisson peut donner jusqu'à 20 pieds cubes.

Les mauvaises huiles, c'est-à-dire les fèces ou dépôts, coûtent, à Paris, à cause du droit d'entrée, 5 sous la livre; mais, en dehors des barrières, elle ne coûtent que 3 sous.

Le bec ordinaire avait une flamme très-haute et très-brillante; il était difficile de s'assurer, chaque fois, que le bec était placé à la hauteur convenable. Par ces deux raisons, il est probable que les intensités ci-dessus sont généralement trop faibles.

N° XXII (B)[3].

EXPÉRIENCE FAITE, À L'HÔPITAL SAINT-LOUIS,

SUR LE BEC À GAZ À CINQ COURONNES,

PLACÉ AU FOYER D'UNE GRANDE LENTILLE

ET ALIMENTÉ PAR DU GAZ D'HUILE.

[4 mai 1824.]

Les trous des deux couronnes extérieures avaient été agrandis au diamètre des autres. Ceux de la cinquième couronne m'ont paru un peu trop gros; cette flamme était moins blanche que les autres.

N° XXII (B)[3]. Le gazomètre avait une fuite; mais, en tenant compte de ce qu'il perdait par cette fuite, on a trouvé que le bec avait dépensé 38 pieds cubes en 50 minutes, c'est-à-dire 45 pieds cubes par heure. Comme il y avait beaucoup de spectateurs, et que l'arrivée de M. le Directeur général [des ponts et chaussées] a pu occasionner quelque méprise au moment de l'observation, je ne suis pas sûr de ce résultat, surtout à cause des fuites, dont l'effet a pu varier.

DISTANCES D'ÉQUIOMBRE.

Distance constante de la lentille à la lampe ordinaire alimentée par de l'huile surabondante. . . . . $85^m,30$

POSITIONS DU BEC et distances angulaires à l'axe.			DISTANCES d'équiombre.	INTENSITÉS en lampes de Carcel.
— $0^m,02$	ou	— 1° 14'.......	$1^m,86$.......	2195,90
— $0^m,08$	ou	— 4° 55'.......	$11^m,00$.......	76,64
Dans l'axe	ou	0° 0'........	$1^m,82$.......	2291,40
+ $0^m,04$	ou	+ 2° 28'.......	$2^m,20$.......	1581,90
+ $0^m,08$	ou	+ 4° 55'.......	$12^m,30$.......	62,96

NOTA. Il est probable, d'après l'expérience suivante, que la perte par la fuite avait été mal estimée ou qu'elle a augmenté pendant le cours de l'expérience, sans doute parce que l'on aura augmenté la pression du gazomètre.

N° XXII (B)[4].

[EXPÉRIENCE AYANT LE MÊME OBJET QUE LA PRÉCÉDENTE.]

[11 mai 1824.]

Nous avons employé pendant quelques minutes un gaz fort beau, quoiqu'il n'eût pas été lavé, que M. Pauper a fabriqué avec une huile ayant une forte odeur d'acide pyroligneux, et dont il ne connaît pas la composition.

Nous avons employé ensuite le gaz d'huile ordinaire, et j'ai mesuré les intensités de lumière avec le bec ordinaire à huile surabondante: mais l'air était agité et l'on ne peut pas compter sur l'exactitude de ces mesures. N° XXII (B)[4].

DISTANCES D'ÉQUIOMBRE.

Distance constante de la lentille à la lampe ordinaire.... 85m,50

POSITIONS DU BEC et distances angulaires à l'axe.	DISTANCES d'équiombre.	INTENSITÉS en lampes de Carcel.	
0m,00 ou 0° 0'..	2m,00..	1914,00	
− 0m,07 ou − 4° 18'.	8m,20..	130,57	
+ 0m,07 ou + 4° 18'.	8m,25..	129,13	
+ 0m,035 ou + 2° 9'..	2m,70..	1067,10	Les flammes avaient baissé.
− 0m,035 ou − 2° 9'..	2m,24..	1534,20	On a fait remonter les flammes en augmentant la pression du gazomètre.
− 0m,005 ou − 0° 18'.	1m,83.	2277,30	Flammes hautes.
+ 0m,005 ou + 0° 18'.	1m,79..	2378,00	Flammes à 4 pouces avec longues flammèches rouges et fumant beaucoup.

Pendant toute la durée de cette expérience, le bec surmonté de la cheminée cylindrique ordinaire a toujours plus ou moins fumé. Le gaz était apparemment plus riche en charbon que celui qui avait été fabriqué, pour l'expérience du 4 mai, avec de l'huile de colza dépurée.

On avait bouché toutes les fuites du gazomètre, et l'on a mesuré avec soin son abaissement pendant le cours de l'expérience.

Voici le résultat de ces observations :

				CONSOMMATION PAR HEURE.
190mm........ 9h 14m				
	43mm........	41m	....	17,05 pieds cubes.
233mm....... 9h 55m				
	25mm........	19m	Flammes hautes..........	21,39
258mm...... 10h 14m				
	46mm........	30m	Flammes à 4 pouces avec longues pointes........	24,92
304mm...... 10h 44m				

N° XXII (B)[1]. Nota. La section horizontale du gazomètre a 88 pieds carrés de superficie.

Nous avons essayé, à la fin de l'expérience, le verre coudé que Tabouret avait acheté chez M. Petit, et auquel nous avons ajouté une rallonge en tôle. Il enveloppait le bec, mais serrait de trop près la cinquième couronne pour qu'on pût l'allumer; en sorte que nous n'avons allumé que les quatre couronnes intérieures, qui ont toutes présenté une flamme blanche et tranquille. J'ai été surpris que la quatrième fût aussi blanche, étant éloignée de la cheminée de. . . . . Ces flammes étaient chargées de lumière, et si supérieures en éclat à celles que nous avions obtenues auparavant avec la cheminée cylindrique, que les quatre flammes au foyer de la lentille nous ont donné une intensité de lumière plus grande que celle qui nous avait été donnée par les cinq flammes environnées de la cheminée cylindrique. J'ai trouvé 1^{m},54 pour distance d'équiombre, ce qui répond à une intensité égale à $\left(\frac{87.04}{1.54}\right)^2$ ou à 3194 lampes de Carcel. Mais les courants d'air agitaient tellement la lampe ordinaire, que cette mesure n'est pas sûre, non plus que les précédentes.

Il nous a paru aussi qu'avec la cheminée coudée les flammes avaient plus de hauteur pour les mêmes ouvertures des robinets, ce qui provenait sans doute de ce qu'elles étaient beaucoup moins agitées et brûlaient complétement une quantité notable de gaz, qui auparavant s'en allait en fumée.

N° XXII (B)[5].

EXPÉRIENCE FAITE, À L'HÔPITAL SAINT-LOUIS,

SUR L'EFFET PRODUIT PAR LE BEC À GAZ À CINQ COURONNES

SURMONTÉ DE LA CHEMINÉE COUDÉE.

[14 mai 1824.]

[Nota. M. de Rossel assistait à cette expérience.]

C'est la lampe renfermée dans une lanterne qui a servi de mesure. En la comparant avec le bec ordinaire alimenté par de l'huile surabondante, j'ai trouvé [pour rapport d'intensité].............. 0,81

DISTANCES D'ÉQUIOMBRE.

Distance constante de la lentille à la lanterne......... 85^m,50

Positions du bec et distances angulaires à l'axe.			Distances d'équiombre.	Intensités en quinquets de la lanterne.	Intensités en lampes de Carcel.
0^m,00	ou	0° 0'.....	1^m,51...	3320,32.......	2689,50
+ 0^m,03	ou	+ 1° 51'....	1^m,64...	2823,20.......	2286,80
+ 0^m,06	ou	+ 3° 41'....	3^m,86...	535,94.......	434,11
+ 0^m,07	ou	+ 4° 18'....	14^m,55...	47,28.......	38,30
— 0^m,07	ou	— 4° 18'....	9^m,78...	94,91.......	76,88
— 0^m,06	ou	— 3° 41'....	3^m,49...	650,18.......	526,64
— 0^m,03	ou	— 1° 51'....	1^m,89...	2138,00.......	1731,70

Nota. D'après la seconde mesure répondant à + 0^m,03, et la septième mesure répondant à — 0^m,03, il est probable qu'il y a erreur en moins pour celle-ci.

Dans cette expérience le dessus du bec était à 28 millimètres au-dessous du niveau du centre de la lentille. Nous l'avons rehaussé

N° XXII (B)[5]. de 5 millimètres, c'est-à-dire fixé à 23 millimètres seulement en contre-bas du centre de la lentille, ce qui n'a pas sensiblement augmenté l'amplitude de l'éclat, comme le prouvent les résultats suivants :

POSITIONS DU BEC.			DISTANCES d'équiombre.	INTENSITÉS en quinquets de la lanterne.	INTENSITÉS en lampes de Carcel.
— $0^{m},03$	ou	— $1°\,51'$....	$1^{m},72$.....	2571,4.....	2082,9
$0^{m},00$	ou	$0°\,0'$	$1^{m},55$		
+ $0^{m},07$	ou	+ $4°\,18'$....	$14^{m},48$		
— $0^{m},07$	ou	— $4°\,18'$....	$10^{m},74$		

Nota. Toutes ces observations ont été faites en tenant la flamme de la lanterne dans son maximum de développement, dont la lumière avait été comparée, par la première mesure, au maximum d'effet du bec ordinaire. Ainsi toutes les évaluations ci-dessus en bec ordinaire à huile surabondante, que j'appelle *Carcel,* sont plutôt trop faibles que trop fortes comparativement aux mesures prises à l'Observatoire.

Pour que les flammes s'inclinassent moins vite à partir de la cinquième couronne [du bec à gaz], nous avons rehaussé le coude de la cheminée de $0^{m},02$. Alors les flammes n'ont pas sensiblement rougi. mais sont devenues plus agitées. — Dans la première position de la cheminée elles étaient parfaitement tranquilles et d'une blancheur éblouissante, quoique le gaz eût beaucoup de dispositions à fumer.

ABAISSEMENT DU GAZOMÈTRE OBSERVÉ PENDANT LA PREMIÈRE SÉRIE DE MESURES D'INTENSITÉS.

$8^{h}\,45^{m}$...20^{mm}		Ainsi le gazomètre s'est abaissé de 95^{mm} ou environ 3 pouces 1/2 pendant 1 heure. 3 pouces donnent $\frac{22}{1}$,
	45^{mm}	
$9^{h}\,15^{m}$...65^{mm}		ou 22 pieds cubes.................... $22^{p.c.},0$
	50^{mm}	
$9^{h}\,45^{m}$..115^{mm}		auxquels il faut ajouter $\frac{22}{6}$ p. 1/2 pouce ou.. 3 ,7

Abaissement total : 95^{mm} pendant une heure.................... ... $25^{p.c.},7$

Par conséquent le bec a consommé près de 26 pieds cubes en une heure.

N° XXII (B)[6].

EXPÉRIENCE FAITE, À L'HÔPITAL SAINT-LOUIS,

SUR LE BEC À CINQ COURONNES,

ALIMENTÉ PAR DU GAZ D'HUILE.

(19 mai 1824.)

PREMIÈRE OBSERVATION. — En prenant pour unité la lampe de la lanterne.

Ses flammes étaient très-hautes et à leur maximum de développement.

Lampe de la lanterne	1m,20
Bec à gaz	6m,89
Intensité en becs de la lanterne, au maximum	32,97

DEUXIÈME OBSERVATION. — En prenant pour unité le bec ordinaire en plein effet.

Bec ordinaire	1m,49
Bec à gaz	7m,42
Intensité en lampes de Carcel .... 24.80 ou	25,00

TROISIÈME OBSERVATION. — Pendant laquelle les flammes du bec à gaz ont un peu baissé.

Bec ordinaire	1m,52
Bec à gaz	7m,50
Intensité en lampes de Carcel	24,35

N° XXII (B)[6]. Abaissement du gazomètre :

$8^h 45^m$	55^{mm}	95^{mm} en une heure	[Le gazomètre a 16 pans et $3^m,62$ de diamètre d'angle en angle. La superficie de sa base (déduction faite des montants) est de 94 pieds carrés.]
$9^h 15^m$	105^{mm}		
$9^h 45^m$	150^{mm}		
$10^h 5^m$	180^{mm}	90^{mm} en une heure.	

On peut admettre que la dépense est de 27 pieds cubes par heure.

N° XXII (C).

EXPÉRIENCE FAITE, À L'USINE ROYALE,

SUR LES GAZ PROVENANT DE LA DISTILLATION DE LA RÉSINE

ET DE L'HUILE DE GOUDRON MÊLÉE DE RÉSINE.

(4 août 1824.)

Le bec à cinq couronnes, placé au foyer de la grande lentille annulaire, a été successivement alimenté par ces deux espèces de gaz.

La distance de la lentille à la lanterne était de $41^m,65$.

	DISTANCES d'équilibre.	INTENSITÉS en becs de quinquet.	INTENSITÉS en lampes de Carcel.
Pour le gaz de résine...........	$0^m,80$	2815 ...	2280
Pour le gaz d'huile............	$0^m,75$	3196 ...	2589

8 kilogrammes de cette huile de goudron mêlée de résine ont donné 158 pieds cubes. Ainsi elle produit, à la distillation, 8 pieds cubes par livre.

M. Bérard m'a assuré que l'huile ordinaire de colza n'en produisait guère plus. — Une consommation de 27 pieds cubes par heure représenterait donc au moins celle de 2 livres 1/2 d'huile.

D'après la table de Thenard, le poids de 1 litre de gaz hydrogène percarburé est 1,275.

	CARBONE.	HYDROGÈNE.	OXYGÈNE.
L'huile d'olive contient.......	77,2	13,36	9,43

Les 9,43 d'oxygène se combinent avec $\frac{9,43}{8}$ ou 1,18 d'hydrogène; il reste donc 77,2 de carbone et 12,18 d'hydrogène.

N° XXII (C). L'hydrogène percarburé est composé d'hydrogène et de carbone dans le rapport de 344 à 2110 : ainsi les 12,18 d'hydrogène de l'huile dissoudront 74,71 ; ce qui fera un poids de 86,89 en hydrogène carboné sur 100 d'huile, ou de 869 grammes sur 1 kilogramme d'huile.

Or 869 grammes d'hydrogène percarburé occupent un volume de $\frac{869}{1,275}$ litres, ou 681,57 litres, ou 19,88 pieds cubes, c'est-à-dire presque 20 pieds cubes. Ainsi 1 kilogramme d'huile d'olive donnerait à peine 20 pieds cubes de gaz hydrogène percarburé, et 1 livre, 10 pieds cubes au plus.

Nota. Il faudrait augmenter d'un vingtième environ ces volumes calculés pour la température 0°.

N° XXII (D).

EXPÉRIENCE FAITE, À L'USINE ROYALE D'ÉCLAIRAGE, SUR LA GRANDE LENTILLE, ILLUMINÉE SUCCESSIVEMENT PAR LE BEC À GAZ ET PAR LA LAMPE À QUATRE MÈCHES.

(16 août 1824.)

[NOTA. M. ROBERT STEVENSON assistait à cette expérience.]

C'est la lampe de Carcel construite par M. Wagner qui a été prise pour objet de comparaison, ou pour unité, en tenant sa flamme à une hauteur modérée.

Gaz de résine....... $\left(\frac{43^m,50}{1^m,04}\right)^2 = 1750$ lampes de Carcel.

Gaz d'huile......... $\left(\frac{43^m,37}{0^m,91}\right)^2 = 2271$ lampes de Carcel.

Lampe à 4 mèches.... $\left(\frac{43^m,00}{0^m,87}\right)^2 = 2443$ lampes de Carcel.

NOTA. En éteignant successivement les trois flammes extérieures de la lampe à quatre mèches, on a remarqué que l'axe du cône lumineux n'était pas exactement dirigé vers le papier sur lequel on comparait les deux ombres. Ainsi la lumière observée ne devait pas être tout à fait le maximum de celle que peut donner la grande lentille illuminée par la lampe à quatre mèches. Peut-être y avait-il aussi quelques petites erreurs du même genre dans la disposition précédente de la lentille et du bec à gaz, que je n'avais pas vérifiée; au surplus, elles n'ont pu que diminuer un peu l'effet de la grande lentille.

J'ai reconnu, d'après des expériences précédentes, que le bec à gaz composé de cinq anneaux concentriques consommait 25 à 26 pieds cubes par heure, et la lampe à quatre mèches, 1 livre 1/2 d'huile.

N° XXII (E).

ESSAIS COMPARATIFS DE DIVERS GAZ.

N° XXII (E)[1].

EXPÉRIENCE SUR DEUX GAZ PRODUITS PAR LA DISTILLATION, L'UN DE L'HUILE DE COLZA, L'AUTRE D'UNE HUILE FACTICE.

(24 mars 1826.)

Nous avons comparé dans cette expérience, M. Bérard et moi, deux gaz provenant, l'un d'huile de colza et l'autre d'huile factice. L'huile de colza avait donné un peu plus de gaz qu'à l'ordinaire, parce qu'elle avait été chauffée un peu plus fortement. C'est par elle qu'on avait commencé la distillation, et l'huile factice, distillée à une température moindre, a donné au contraire moins de gaz que de coutume.

M. Bérard présume qu'une certaine portion de cette dernière huile n'a point été décomposée, mais simplement volatilisée, de sorte qu'elle a dû redevenir liquide par le refroidissement.

4 kilogrammes d'huile factice avaient élevé le gazomètre de 26 pouces 10 lignes. Il a 6 pieds de diamètre : ainsi ces 4 kilogrammes d'huile avaient produit 63,224 pieds cubes; par conséquent chaque kilogramme avait produit 15,8 pieds cubes, ou 16 pieds cubes environ, ce qui ne fait que 8 pieds cubes par livre.

3 kilogrammes d'huile de colza avaient élevé le gazomètre de 23 pouces 6 lignes ou 282 lignes : ainsi ces 3 kilogrammes avaient donné 55,371 pieds cubes, ce qui fait 18,457 pieds cubes ou 18,46 pieds cubes par kilogramme, ou 9,1/4 pieds cubes environ par livre.

Nous avons alimenté successivement le même gros bec ordinaire

à gaz avec les deux gaz d'huile, en laissant la même ouverture de robinet. Les intensités des deux lumières, comparées successivement à la lampe de Carcel, dont un écran ne laissait voir que 21 millimètres de hauteur de flamme, nous ont paru sensiblement égales. Le gaz d'huile de colza semblait donner un peu plus de lumière, mais nous avons reconnu, quelques instants après, que la flamme de la lampe de Carcel baissait et n'était plus si bien nourrie dans la partie découverte, ce qui nous a obligés d'avoir recours à un bec alimenté par le gaz de charbon de terre sous une pression constante. Nous nous sommes assurés, de cette manière, que les deux gaz d'huile donnaient la même quantité de lumière, et nous avons reconnu aussi que la consommation en volume était la même. N° XXII (E).

Pour la rendre plus rapide, outre le bec qui servait à l'expérience, huit becs semblables étaient allumés. En 43 minutes, nous avons fait baisser d'abord le gazomètre de l'huile factice de $0^{m},152$, et ensuite, en 30 minutes, de $0^{m},105$; ce qui fait en tout $0^{m},257$ pour 73 minutes, ou $0^{m},211$ pour une heure.

En 44 minutes le gazomètre contenant le gaz d'huile de colza a baissé de $0^{m},16$, ce qui équivaut à $0^{m},209$ par heure.

Il y avait cependant entre les deux gaz d'huile cette différence que, malgré ces pressions et ces ouvertures de robinets égales et ces quantités égales de lumière produite, les flammes du gaz d'huile factice montaient plus haut dans les cheminées et paraissaient un peu plus disposées à rougir et à fumer dans leur partie supérieure, qui atteignait le haut de la cheminée.

En négligeant les portions d'huile distillée restées dans les appareils, on conclurait de ces expériences que les produits de lumière du gaz d'huile factice et du gaz d'huile de colza sont entre eux comme 15,8 est à 18,46; or les prix de ces deux huiles sont entre eux comme 3 : 4. Ainsi les avantages économiques qu'elles présentent sont dans le rapport $\frac{15,8}{3} : \frac{18,46}{4}$, ou 5,27 : 4,61, ou enfin 1,143 : 1; c'est-à-dire que l'huile factice de M. Bérard présenterait au moins un bénéfice de 0,143 ou d'un septième.

N° XXII (E)[1]. Mais il s'engage à fournir toujours, à un prix moindre d'un quart que celui de l'huile de colza, une quantité d'huile suffisante pour produire la même quantité de lumière.

Ainsi le bénéfice serait d'un quart.

N° XXII (E)[2].

EXPÉRIENCE SUR LA CONSOMMATION DE GAZ D'HUILE FACTICE,

PAR DES BECS À CINQ, À QUATRE ET À DEUX FLAMMES.

(7 avril 1826.)

Cette expérience a été faite avec M. Bérard, à l'usine royale d'éclairage.

Nous avons employé le bec à gaz à cinq couronnes, que nous avons d'abord allumées toutes les cinq; ensuite nous avons éteint la couronne extérieure, de manière à produire l'effet et la dépense d'un bec à quatre flammes. Enfin nous avons mis en expérience le bec à deux couronnes qui doit servir à éclairer le cadran de l'Hôtel de Ville.

Pour les deux premières expériences, nous avons employé le gazomètre moyen de 6 pieds de diamètre, dont la section horizontale contient 28,3 pieds carrés. Pour la dernière expérience, nous nous sommes servis du petit gazomètre, dont la section horizontale n'est que de 1 pied carré.

Une lampe de Carcel. dont nous avons entretenu la flamme à la hauteur de 40 millimètres, nous a servi d'objet de comparaison. Elle a consommé 45 grammes d'huile en une heure un quart, ce qui équivaut à 36 grammes par heure. Sa flamme était un peu rougeâtre et donnait, je crois, un peu moins de lumière que la lampe ordinaire, dont j'évalue la consommation à 40 grammes par heure.

N° XXII (E)².

PREMIÈRE EXPÉRIENCE.

	DISTANCES D'ÉQUILOMBRE.		MOYENNES.	INTENSITÉS.
Bec à 5 flammes..........	$6^m,70$...	$6^m,65$...	$6^m,67$...	42,76
Lampe de Carcel.........	$1^m,05$...	$0^m,99$...	$1^m,02$...	1,00

HAUTEURS DU GAZOMÈTRE :

Consommation....
- à $2^h\ 2^m$..... $0^m,63$
- à $2^h\ 3^m$..... $0^m,623$
- à $2^h\ 34^m$.... $0^m,383$
- à $2^h\ 35^m$.... $0^m,378$

Ainsi, dans 32 minutes le gazomètre a baissé de $0^m,246$, ce qui équivaut à $0^m,461$ (ou 17 pouces, à très-peu près) dans une heure. La consommation serait donc par heure de 28,3 p. cub. $\times \frac{17}{12} = \frac{481,1}{12} = 40,1$ ou, en nombre rond, 40 pieds cubes par heure. Or, d'après les données fournies par M. Bérard, lors de l'expérience du 24 mars, il faudrait 2500 grammes d'huile factice pour produire ces 40 pieds cubes; mais il pense qu'avec des soins convenables on pourrait retirer 40 pieds cubes de 2355 grammes, en comptant 17 pieds cubes par kilogramme d'huile factice. Si nous multipliions l'intensité 42,76 par 36, ou même par 40 grammes, nous aurions seulement 1710 grammes d'huile de colza pour produire dans les lampes une lumière équivalente. La différence est 645, ou un tiers en sus, pour l'huile factice.

DEUXIÈME EXPÉRIENCE.

	DISTANCES D'ÉQUILOMBRE.		MOYENNES.	INTENSITÉS.
Bec à 4 flammes.........	$6^m,95$....	$6^m,97$...	$6^m,96$...	29,11
Lampe de Carcel.........	$1^m,285$...	$1^m,30$...	$1^m,29$...	1,00

HAUTEURS DU GAZOMÈTRE :

Consommation....
- à $2^h\ 34^m$.... $0^m,383$
- à $2^h\ 35^m$.... $0^m,378$
- à $2^h\ 59^m$.... $0^m,245$
- à $3^h\ 00^m$.... $0^m,240$

N° XXII (E)[2]. Ainsi, en 25 minutes, le gazomètre a baissé de 0m,138, ce qui équivaut à un abaissement de 0m,331 dans une heure, ou 1,02 p. c. environ. Or la section du gazomètre étant de 28,3 pieds carrés, la consommation par heure serait de 28,87 pieds cubes, ou environ 29 pieds cubes. Si l'on suppose que 1 kilogramme d'huile factice produise 17 pieds cubes, ces 29 pieds cubes représentent 1k,706 d'huile factice, tandis que la lumière produite ne représente en quinquets que 29×40 grammes environ, ou 1k,160 d'huile ordinaire. L'excédant est de 546 grammes.

TROISIÈME EXPÉRIENCE.

	DISTANCES D'ÉQUILIBRE.		MOYENNES.	INTENSITÉS.
Bec à 2 flammes..........	3m,675...	3m,80...	3m,74...	4,41
Lampe de Carcel..........	1m,715...	1m,84...	1m,78...	1,00

Petit gazomètre...	à 3h 8m....	0m,855
	à 3h 25m...	0m,145

Ainsi le petit gazomètre, dont la section égale 1 pied carré, s'est abaissé de 0m,71 dans 17 minutes, ce qui équivaut, pour une heure, à un abaissement de 2m,506, ou 7 pieds 8 1/2 pouces environ, c'est-à-dire que ce bec à deux flammes consomme 7 3/4 pieds cubes de gaz par heure, ce qui équivaut à 456 grammes d'huile factice. Or la même quantité de lumière peut être produite par des quinquets avec 4,41×40 grammes, ou 176 grammes d'huile ordinaire, c'est-à-dire moins de la moitié.

N° XXII (E)[3].

EXPÉRIENCE SUR LE GAZ PORTATIF.

(..... 1826.)

	DISTANCES.	INTENSITÉS.
Gros bec ordinaire alimenté par du gaz portatif...	3m,13...	1,46
Lampe de Carcel	2m,59...	1,00

La lampe de Carcel a consommé 45 grammes en 64 minutes, ou 42 grammes par heure. N° XXII (E)[3].

Le petit gazomètre, dont la section horizontale est de 1 pied carré, a baissé, dans une heure, de 21 1/2 pouces, ou 1,8 pied; ainsi le bec à gaz a consommé 1,8 pied cube en une heure; or 1 livre d'huile, ou 500 grammes, donne au plus 12 pieds cubes; par conséquent 1,8 pied cube équivaut à 75 grammes. Mais 42 grammes $\times$ 1,46 = 61g,32, c'est-à-dire 61 ou 62 grammes. Ainsi le gaz consomme 13 à 14 grammes, ou le cinquième au moins, en sus de la lampe de Carcel.

N° XXII (E)[4].

EXPÉRIENCE SUR LE GAZ D'HUILE ANIMALE.

(21 décembre 1826.)

Cette expérience avait pour objet de comparer de nouveau la lampe de Carcel avec le gaz provenant de l'huile animale de M. Bérard.

Nous avons tenu le bec à gaz à une hauteur telle qu'il équivalait à la lampe de Carcel en plein effet. Je n'ai pas mesuré la consommation de cette lampe pendant l'expérience; mais, d'après les expériences précédentes, elle devait être environ de 40 grammes par heure, peut-être un peu plus.

Pendant la première demi-heure, le bec à gaz a consommé 15 pouces, ou 1 1/4 pied cube; pendant le quart d'heure suivant, 8 pouces, ou trois quarts de pied cube, ce qui ferait 1 1/2 pied cube dans une demi-heure. Mais le bec à gaz a été constamment un peu plus fort que la lampe de Carcel. Dans l'expérience précédente, il s'est trouvé souvent un peu plus faible. Ainsi, en adoptant la consommation de 1 1/4 pied cube par demi-heure, ou de *deux pieds cubes et demi* par heure, nous ne devons pas supposer que la lampe de Carcel équivalente consomme plus de 40 grammes d'huile de colza par heure.

En tenant compte pour demi-valeur des liquides condensés dans

N° XXII (E)[1]. cette décomposition de son huile animale, M. Bérard a trouvé que 1 kilogramme d'huile avait produit 20 pieds cubes. Ainsi, puisqu'il peut vendre cette huile 40 centimes le kilogramme, chaque pied cube reviendrait à 2 centimes, et les 2 1/2 pieds cubes à 5 centimes, dépense à peu près égale à celle des 40 grammes d'huile de colza, si on la suppose à 12 sous la livre, ou 1 fr. 20 cent. le kilogramme, puisque alors les 40 grammes coûteraient 48 centimes.

Nota. Le feu avait été poussé un peu trop vivement pendant la préparation du gaz, ce qui en avait produit davantage, mais l'avait rendu de moins bonne qualité, en lui faisant déposer du charbon.

XXIII.

ÉTUDES

RELATIVES

AU PROJET DE LA TOUR DU PHARE

DE BELLE-ÎLE[a].

N° XXIII (A).

RAPPORT

SUR LE PROJET PRÉSENTÉ PAR L'INGÉNIEUR EN CHEF DU MORBIHAN

POUR LE PHARE DE BELLE-ÎLE.

[4 et 7 mars 1825.]

Nous avons été chargé par M. le Directeur général, dans la dernière séance de la Commission, d'examiner, sous le rapport de la

---

(a) Les études relatives à l'établissement du phare de premier ordre destiné à signaler Belle-Île, l'un des principaux atterrages de nos côtes de l'Océan, préoccupèrent péniblement Fresnel jusqu'à ses derniers moments. S'étant trouvé en dissidence avec l'ingénieur en chef du Morbihan, sur les conditions de stabilité de la haute tour à construire, il eut à dresser un double contre-projet, qui fut soumis à la Commission des phares, puis au Conseil général des ponts et chaussées. [Voyez ci-après le N° XXIII (B).]

Parmi les documents, la plupart administratifs, concernant ces études et cette controverse, nous avons dû nous borner à reproduire le petit nombre de pièces qui nous ont paru offrir assez d'intérêt, au double point de vue théorique et pratique, pour figurer dans la présente publication.

N° XXIII (A). construction, le projet de phare pour Belle-Île présenté par M. l'ingénieur en chef du Morbihan, et de chercher les moyens d'en diminuer la dépense. Nous avons l'honneur de mettre sous les yeux de la Commission le croquis d'un nouveau projet plus économique, que nous avons soumis à M. Sganzin, inspecteur général[a]. Nous allons exposer avec quelque détail les modifications apportées par le nouveau projet et les avantages qui en résultent.

Dès le premier abord, il nous a paru que le soubassement ou piédestal sur lequel repose la colonne, dans le projet présenté par M. Luczot, offre un massif de maçonnerie plus considérable qu'il n'est nécessaire pour la solidité de l'édifice et le logement des gardiens.

Aux phares d'Eddystone et de Bell-Rock, entourés par la mer, la tour seule, qui est moins élevée, suffit pour loger les gardiens et leurs approvisionnements.

Nous avons dû toutefois prévoir le cas où l'on adopterait l'éclairage au gaz d'huile pour le phare de Belle-Île, et chercher le moyen d'établir un appareil distillatoire avec ses deux gazomètres. Mais nous avons reconnu qu'il serait très-difficile de ménager l'emplacement nécessaire dans le soubassement du premier projet, malgré ses grandes dimensions, comme on peut le voir par les deux cercles tracés au crayon, qui indiquent la section horizontale de ces gazomètres[1]. Augmenter encore la largeur du soubassement serait un moyen trop dispendieux. Il sera plus économique et plus prudent en même temps de placer les gazomètres sous un hangar construit auprès de l'édifice. Pour prévenir les explosions qui pourraient être occasionnées par les fuites accidentelles d'un gazomètre, il est essentiel que le gaz qui s'échappe ne puisse pas s'accumuler dans le haut de la pièce où cet appareil est

[1] Ces traits au crayon, qui étaient restés sur le dessin, mais dont il n'était point fait mention dans le premier rapport de la Commission, ont été mal interprétés par M. l'ingénieur en chef du Morbihan, dans son rapport du 8 novembre 1824, et il était difficile en effet qu'il pût deviner leur objet.

[a] Voyez la planche XV.

renfermé, et le courant d'air nécessaire pour entraîner le gaz est beaucoup plus facile à établir dans un hangar, au toit duquel on pratique une ouverture, que dans une pièce surmontée de plusieurs étages. Ainsi, dans tous les cas, on ne doit songer à loger dans le phare proprement dit que les gardiens et leurs approvisionnements. N° XXIII (A).

Ce principe admis, il est évident que le soubassement du projet présenté par M. l'ingénieur en chef du Morbihan offre plus de logement qu'il n'en faut pour les besoins du service. Or ce grand massif de maçonnerie en pierre de taille et en libages constitue une portion considérable de la dépense. Est-il indispensable à la stabilité de l'édifice? Nous ne le pensons pas. Il nous a paru que M. Luczot s'était exagéré la puissance du vent sur une tour élevée. Quoique cette tour ait 53 mètres de hauteur, en y comprenant le soubassement, elle pourrait résister aux plus violentes tempêtes, lors même qu'elle serait complétement isolée du haut en bas, et ne serait pas renforcée dans sa partie inférieure par un massif de maçonnerie. Les aiguilles gothiques d'une construction si légère, qui subsistent depuis tant de siècles sur nos côtes, les hautes cheminées en briques que l'on construit maintenant en Angleterre et en France pour augmenter le tirage des fourneaux, doivent rassurer sur la stabilité de ce genre d'édifice. Une tour ou colonne creuse (dont la forme ronde diminue déjà l'action du vent) ne lui résiste pas seulement par l'épaisseur de sa maçonnerie, comme un mur plan et isolé, mais encore en raison de la largeur de sa base; puisqu'elle forme voûte dans le sens horizontal et que le côté frappé du vent ne peut être renversé qu'avec le reste de la tour basculant sur le point opposé de son diamètre.

Dans le projet que nous avons l'honneur de soumettre à la Commission, et où nous avons considéré les deux cas d'une construction en briques et d'une construction en pierre de taille de granit, cette tour de 53 mètres de hauteur totale aurait $5^m,40$ de diamètre à son extrémité supérieure, et $7^m,40$ ou $7^m,20$ à sa base, selon qu'elle serait en briques ou en granit. Dans le premier cas nous avons donné au mur une épaisseur de 70 centimètres en haut et de $1^m,70$ en bas; dans le

N° XXIII (A). second, une épaisseur de 60 centimètres en haut et 1m,50 en bas. Dans la tour de Cordouan, construite en pierre calcaire, le mur présente au haut une épaisseur de 65 centimètres, qui reste la même jusqu'à 25 mètres au-dessous. Dans les phares d'Eddystone et de Bell-Rock, exposés au choc des vagues jusqu'à leur couronnement, la section supérieure du mur n'offre qu'une épaisseur de 40 centimètres. De ces divers rapprochements nous avons conclu qu'une épaisseur de maçonnerie de 60 centimètres au haut de la tour suffirait pour le phare de Belle-Île. Cette dimension pourrait même être réduite, si l'on n'avait pas à résister à la poussée de la voûte qui supporte l'appareil d'éclairage [1], et elle est assurément bien plus que suffisante pour empêcher le vent de renverser la partie supérieure de la tour.

Avec les épaisseurs et les diamètres que nous venons d'indiquer, nous sommes persuadé que cette tour, sans soubassement, résisterait aux plus violentes tempêtes, alors même qu'elle serait construite en briques. Pour appuyer ce que nous avançons, nous citerons la construction légère des hautes cheminées d'usines en général, et en particulier celle de la cheminée de l'usine Française, faubourg Montmartre, dont les dimensions nous sont connues. Sa hauteur est de 110 pieds ou 36 mètres, sa largeur totale à la base de 3m,70, au sommet de 1m,75. L'épaisseur du mur construit en briques est de 1m,10 en bas, et seulement de 8 pouces ou 22 centimètres en haut. Sans doute cette cheminée ne sera pas exposée aussi fréquemment à des tempêtes que le phare de Belle-Île; mais on a dû cependant calculer sa force, d'après l'expérience des hautes cheminées construites en Angleterre, pour qu'elle fût capable de résister à un coup de vent extraordinaire. Le phare de Belle-Île aura 17 mètres de hauteur de plus; mais aussi quelle différence dans l'épaisseur des murs et dans la largeur de sa base, qui sera double de celle de la cheminée!

Une fois rassuré sur la stabilité de la tour, supposée isolée, on peut

[1] On pourra augmenter la résistance du mur à la poussée de la voûte par un cercle de fer encastré dans une des assises de la maçonnerie à 1m,10 ou 1m,20 au-dessus de la naissance de la voûte, comme cela est indiqué sur le croquis de la lanterne.

considérer le soubassement qu'on lui ajoute comme un simple placage N° XXIII (A).
qui en entoure le pied et a pour objet principal de loger les gardiens avec les approvisionnements nécessaires au service du phare. Il suffit alors de donner aux murs du soubassement une épaisseur qui résiste à la poussée des voûtes. C'est ce que nous avons fait dans le projet, ou plutôt dans les deux projets nouveaux que nous avons l'honneur de soumettre à la Commission.

Le soubassement a 11^{m},40 en carré et 10 mètres de hauteur : l'épaisseur de ses murs construits en pierre de taille est de 60 centimètres. Ils sont renforcés dans les angles contre lesquels s'exerce la poussée des voûtes d'arête qui recouvrent les six pièces des deux étages du soubassement. Dans toute sa hauteur, c'est-à-dire sur 10 mètres à partir du sol, la tour est appuyée fortement de quatre côtés opposés par les murs épais qui séparent ces pièces, et même dans un quart de sa circonférence par le massif de maçonnerie qui renferme le petit escalier tournant au moyen duquel on monte sur la plate-forme du soubassement. Ainsi l'on est certain du moins que, jusqu'à 10 mètres du sol, cette tour serait inébranlable, et que si un ouragan extraordinaire pouvait la renverser, ce serait au-dessus du soubassement qu'elle se romprait. La question de sa stabilité est donc réduite à celle d'une tour de 43 mètres, et non plus de 53 mètres de hauteur, c'est-à-dire qui n'aurait guère plus d'élévation que la mince cheminée de briques dont nous venons de parler, et que tant d'autres cheminées d'une construction aussi légère.

Dans le cas où l'on bâtirait cette tour en briques, nous avons supposé qu'on ferait toujours en pierre de taille la partie renfermée dans le soubassement ; ce n'est qu'à partir de sa plate-forme que la maçonnerie de briques commencerait. Cette tour en briques de 43 mètres de hauteur, ayant 7^{m},20 de diamètre à sa base, c'est-à-dire au niveau de la plate-forme, et 5^{m},60 à son sommet, dont le mur aurait 1^{m},50 d'épaisseur à la base et 70 centimètres en haut, serait capable certainement de résister au choc des plus violents coups de vent. A plus forte raison doit-on compter sur la stabilité de la tour si on la construit en

N° XXIII (A). granit, quoique l'épaisseur du mur soit alors un peu diminuée dans notre projet, la pesanteur du granit étant double de celle de la brique.

Le mur de la tour se prolongeant jusqu'aux fondations et étant construit en granit sur 10 mètres de hauteur, dans le projet en briques comme dans l'autre, la partie inférieure de l'édifice ne s'écrasera pas sous le poids de la partie supérieure, malgré les trois portes pratiquées dans ce mur, aux deux étages du soubassement. Ces ouvertures sont voûtées et sont étroites, quoiqu'un peu moins que celles du projet de M. Luczot, qui sont plus multipliées. En comparant le poids de la tour à la partie de la superficie de sa base qui porte toute la charge, on voit que cette charge n'est pas si grande, relativement aux supports, que dans beaucoup d'autres constructions faites avec des matériaux moins résistants. Quant à la partie toute en briques, comme elle n'a que 43 mètres de hauteur et que l'épaisseur de son mur à la base surpasse celle du sommet de 80 centimètres, nous ne pensons pas non plus que les briques inférieures puissent éclater, si elles sont bien cuites et de bonne qualité.

Après avoir considéré les nouveaux projets sous le rapport de la solidité, il nous reste à voir s'ils satisferont aux besoins et à la commodité du service.

Le soubassement contient au rez-de-chaussée, outre l'escalier et le vestibule du centre, trois pièces voûtées comprises entre ses quatre murailles et la tour; il en contient autant au premier étage. Les deux pièces situées au rez-de-chaussée à droite et à gauche de la porte d'entrée pourront servir de magasins pour les approvisionnements d'huile et les autres objets nécessaires au service du phare; les gardiens feront leur cuisine dans la troisième pièce du rez-de-chaussée et auront pour chambres à coucher les trois pièces du premier étage. Ces chambres, quoique d'une forme irrégulière, seront très-logeables et même assez grandes pour contenir chacune deux lits; en sorte qu'à la rigueur la cuisine pourrait être transférée au premier étage, et les trois pièces du rez-de-chaussée employées comme magasins. Les gardiens de service auront encore dans le haut de la tour, au-dessous de la lanterne, une

chambre assez commode, qu'ils pourront échauffer au moyen d'un poêle. Elle sera ronde et aura 4^{m},20 de diamètre. Si l'on déduit l'espace occupé par le petit escalier servant à monter dans la lanterne, on voit qu'il restera encore assez de place pour y mettre un lit et les menus objets nécessaires à l'éclairage du phare [1]. Au-dessous de cette chambre est un large palier supporté par une voûte, et dont la superficie occupe la moitié de la section intérieure de la tour. C'est sur ce palier qu'on recevra et qu'on pourra déposer momentanément les fardeaux qu'on voudra porter dans la lanterne. N° XXIII (A).

Il est très-commode dans une tour aussi haute de les élever, comme au phare de Cordouan, par le moyen d'une corde qui passe sur une poulie fixe, à laquelle on ajoute un palan lorsque cela est nécessaire. C'est pourquoi nous avons ménagé une ouverture circulaire de 1^{m},15 de diamètre au milieu de la voûte de chacune des deux pièces centrales du soubassement, pour laisser passer les fardeaux qu'on voudra monter dans le haut de la tour; en sorte qu'on pourra élever par ce moyen simple et commode, depuis le rez-de-chaussée jusqu'au large palier dont nous venons de parler, les différents objets qu'il sera nécessaire de transporter dans la lanterne, et l'huile qui servira à l'éclairage.

L'escalier par lequel on monte de la plate-forme du soubassement jusqu'au haut de la tour, au lieu d'être enfermé entre deux murailles cylindriques concentriques, comme dans le projet de M. Luczot, est en vis à jour. Le diamètre intérieur de la tour est déjà plus grand dans notre nouveau projet que dans celui dont nous venons de parler, puisqu'il a 4^{m},20 au lieu de 3^{m},40, et la suppression du second mur intérieur augmente encore de 50 centimètres la largeur dont on peut disposer pour l'escalier et l'espace vide par lequel on doit élever les objets nécessaires au service de la lanterne. En donnant 1 mètre de largeur à notre escalier à jour, il reste 2^{m},20 de diamètre pour l'espace vide dont il s'agit, au lieu de 1^{m},30 seulement que présenterait le premier projet.

[1] On fermera par une cloison l'espace compris entre le sol de la chambre et l'escalier qui monte dans la lanterne, et par une porte l'entrée de l'escalier inférieur.

N° XXIII (A). Il résulte encore plusieurs autres avantages de la disposition que nous avons adoptée. Avec moins de fenêtres l'escalier sera mieux éclairé; déjà plus large de 15 centimètres que celui de l'ancien projet, il présente surtout, par l'espace libre qu'il laisse du côté de la rampe, plus de facilité pour monter à dos d'homme des pièces d'une certaine longueur ou d'une largeur un peu considérable; et quant à celles qu'on élèvera au moyen de la corde et de la poulie fixée au haut de la tour, elles auront aussi plus de place dans le jour de l'escalier, et pourront être suivies et dirigées au besoin pendant leur ascension.

L'escalier qui conduit du rez-de-chaussée sur la plate-forme du soubassement est aussi, dans le nouveau projet, plus large que dans l'ancien. En général, nous pensons que le nouveau projet présentera plus de facilité et de commodité pour le service que l'ancien, auquel il n'est inférieur que dans le nombre des pièces de logement; et nous avons montré que, sous ce rapport, le nouveau projet contenait tout ce qui était nécessaire.

Nous allons faire connaître maintenant les économies considérables qu'il procure.

Nous avons dû adopter dans l'estimation des travaux les prix donnés par M. l'ingénieur en chef du Morbihan, qui, étant sur les lieux, peut juger beaucoup mieux que nous de la valeur de chaque chose. Cependant pour quelques espèces de travaux, qui n'entraient pas dans son détail estimatif, tels que la maçonnerie en briques, nous avons été obligé de calculer approximativement de nouveaux prix. En portant à 50 francs le mètre cube de maçonnerie de briques, nous croyons être plutôt au-dessus qu'au-dessous de sa valeur réelle.

Le phare supposé construit tout en granit, conformément aux dispositions que nous venons d'indiquer, coûterait, sans compter la lanterne, 215,000 francs.

Dans le second projet nous supposons la tour en briques depuis la plate-forme du soubassement jusqu'à la naissance de la voûte qui porte la lanterne. Nous employons encore la brique pour les voûtes

des six pièces situées entre la tour et les murs du soubassement d'enceinte [1]. N° XXIII (A).

La dépense se trouve réduite dans ce second système à 180,000 fr.

Nous avons étudié aussi la construction de la lanterne, dont nous avons l'honneur de mettre un croquis assez détaillé sous les yeux de la Commission : nous avons trouvé qu'en la construisant en bronze elle coûterait 15,000 francs, y compris la galerie de service recouverte de dalles de fonte. Si l'on fait les montants en fonte douce, et si l'on n'exécute en bronze que les pièces suivantes, savoir : 1° les languettes destinées à maintenir les glaces; 2° les traverses horizontales; 3° les deux polygones inférieur et supérieur dans lesquels s'assemblent les montants (c'est-à-dire en un mot toutes les pièces extérieures, ce qui nous paraît suffisant), la lanterne ne coûtera que 11,000 francs.

Supposons-la de 15,000 francs : alors les dépenses totales des deux nouveaux projets seront : pour l'un, de 230,000 francs, et pour l'autre, de 195,000 francs. Le montant du détail estimatif du projet présenté par M. l'ingénieur en chef du Morbihan est de 348,000 francs. Ainsi, en adoptant le premier des deux nouveaux projets, il en résultera une économie de 118,000 francs; elle serait portée à 153,000 francs, si l'on adoptait le second, dans lequel le fût de la colonne et les voûtes d'arête sont en briques.

Malgré l'économie de 35,000 francs que présente celui-ci, comparé au premier, nous sommes loin d'insister pour qu'il lui soit préféré. Il faudrait pour cela que nous fussions plus sûr de la qualité des briques qui seraient employées à la construction du phare. Sans doute la bonne maçonnerie en briques peut durer bien des siècles, comme le prouvent tant de constructions romaines; elle peut résister aussi à la gelée et à l'action de l'air et de l'eau de la mer, comme le montrent les écluses de la Hollande. Mais, malheureusement, la fabrication des briques a été jusqu'à présent trop négligée en France, et l'on ne peut

[1] Les voûtes en briques de l'étage supérieur seraient recouvertes avec des dalles de granit de 20 centimètres d'épaisseur, qui formeraient le pavé de la plate-forme du soubassement.

N° XXIII (A). compter sur leur bonne qualité que dans un petit nombre de nos départements.

En construisant la tour en granit d'appareil, on sera certain que les intempéries de l'air et l'action du temps ne pourront jamais la dégrader. Elle aura par son poids beaucoup plus de stabilité qu'une tour en briques, et, quoique le granit ne s'unisse pas aussi facilement que la brique avec le mortier, il sera facile cependant de former aussi en granit une maçonnerie bien liée, si l'on pose les pierres à bain de mortier épais et sans cales, en les arasant ensuite à chaque assise, comme M. Luczot le prescrit dans son devis.

Nous n'avons parlé jusqu'à présent que des convenances de logement et de service auxquelles le phare devait satisfaire, de la solidité et de l'économie de sa construction. Mais quand il s'agit d'un aussi grand édifice, il faut le considérer encore sous le rapport de son effet monumental, c'est-à-dire du plaisir qu'il doit procurer aux yeux. Nous pensons qu'à cet égard le nouveau projet est au moins aussi satisfaisant que l'ancien. Nous ne pouvons pas disconvenir que celui-ci n'offre dans sa partie inférieure une masse plus imposante, et qui plaît assez dans le dessin géométral; mais, en perspective, la multiplicité des pans de ce soubassement produirait un effet compliqué et fatigant pour le spectateur. Il saisira plus facilement, et par conséquent avec plus de plaisir, la forme simple du piédestal cubique sur lequel nous avons placé notre colonne. D'ailleurs le rapport entre leurs dimensions se rapproche davantage des proportions ordinaires, c'est-à-dire de celles auxquelles l'œil est habitué.

CONCLUSION.

Nous avons l'honneur de proposer à la Commission de prier M. le Directeur général de communiquer le présent Rapport et le croquis ci-joint à M. l'ingénieur en chef du Morbihan, en l'invitant à rédiger un nouveau projet qui présente les avantages économiques qu'on peut obtenir par les modifications indiquées.

Nous ne pensons pas que M. l'ingénieur en chef du Morbihan doive être invité à se conformer strictement au croquis ci-joint, sur lequel nous sommes prêt d'ailleurs à lui donner tous les éclaircissements qu'il pourra désirer; car il est très-possible que ses lumières et son expérience apportent au projet que nous avons conçu des modifications avantageuses pour la solidité de l'édifice ou la commodité du service auquel il est destiné. N° XXIII (A).

Ayant une connaissance détaillée des dimensions de l'appareil que la lanterne doit contenir et des conditions auxquelles elle doit satisfaire pour la sûreté et la commodité de l'éclairage, nous croyons devoir offrir de nous charger de la rédaction du projet de la lanterne, projet beaucoup moins pressé d'ailleurs que celui du phare, et qui serait communiqué à M. l'ingénieur en chef du Morbihan, après avoir été soumis à l'approbation de M. le Directeur général.

Paris, le 4 mars 1825.

L'ingénieur ordinaire, secrétaire de la Commission des phares,

A. FRESNEL.

Vu et approuvé par l'inspecteur général des ponts et chaussées,

J. SGANZIN.

AVIS DE LA COMMISSION DES PHARES.

Les membres de la Commission soussignés approuvent le présent Rapport et en adoptent les conclusions.

Ils ont l'honneur de proposer à M. le Directeur général de communiquer ce Rapport et le croquis ci-joint à M. l'ingénieur en chef du Morbihan, en l'invitant à rédiger un nouveau projet de phare ayant toujours 53 mètres de hauteur, mais dont la dépense n'excède pas 215 à 220,000 francs, non compris la lanterne. Quant au projet de la lanterne, il leur paraît convenable de charger le secrétaire de la Commission d'en étudier les détails.

N° XXIII (A). Malgré l'économie de 35,000 francs qui résulterait de la substitution de la brique au granit dans une partie de l'édifice, la Commission est d'avis de ne pas hasarder ce genre de construction dans un pays où l'on n'est pas assez certain de pouvoir fabriquer des briques d'une qualité parfaite. D'ailleurs la stabilité plus grande que le granit donnera à la tour, à cause de sa pesanteur, est encore une raison de préférer cette espèce de matériaux.

La Commission désire que M. l'ingénieur en chef du Morbihan veuille bien examiner si l'on ne pourrait pas, sans augmenter sensiblement la dépense, rendre les pièces contenues dans le soubassement plus commodes pour le logement, en substituant au carré de sa base un cercle, qui aurait l'avantage de présenter plus de superficie avec le même développement de murailles.

Paris, le 7 mars 1825.

Les membres de la Commission : I. SGANZIN, DE PRONY, DE ROSSEL, TARBÉ DE VAUX-CLAIRS, ARAGO, MATHIEU, ROLLAND, et A. FRESNEL, *secrétaire.*

N° XXIII (B).

NOUVEAU PROJET DU PHARE DE BELLE-ÎLE[a].

EXTRAIT DU PROCÈS-VERBAL DE LA SÉANCE DE LA COMMISSION DES PHARES

du 9 septembre 1825.

. . . La Commission entend la lecture d'une lettre de M. Luczot [ingénieur en chef du Morbihan] à M. le directeur général [des ponts et chaussées], par laquelle il annonce qu'il ne peut pas se charger de satisfaire, dans un nouveau projet du phare de Belle-Île, aux conditions posées par la Commission, parce qu'il ne croit pas possible de les remplir sans compromettre la stabilité de l'édifice, d'après les motifs exposés dans cette lettre.

M. Fresnel lit ensuite une réfutation détaillée des objections présentées par M. l'ingénieur en chef du Morbihan, et soumet à la Com-

[a] Après avoir fait, pour être annexé au Rapport précédent, le croquis figuré planche XV, Fresnel se trouva conduit, ainsi qu'il résulte du présent procès-verbal, à dresser un projet complet, par suite du refus de l'ingénieur en chef du Morbihan de se conformer à un programme qui, suivant lui, donnait à la tour des proportions trop sveltes. Nous avons cru d'ailleurs qu'il n'y avait lieu de reproduire de la seconde étude de notre auteur que les deux planches publiées par lui-même dans la Collection de l'École des ponts et chaussées. (Voyez la planche XVI.)

Nous complétons cette reproduction par la Note ci-dessous, qui n'a pu trouver place sur la double planche.

CALCUL DE LA RÉSISTANCE DE LA TOUR À L'EFFORT DU VENT.

Un ouragan étant supposé avoir une vitesse de 50 mètres par seconde et pro-

N° XXIII (B). mission, au nom de M. Tarbé et au sien, un projet de phare pour Belle-Île, qui remplit toutes les conditions qu'elle avait annoncées dans son Rapport du 8 juillet 1825. (Voir la planche XVI.)

La Commission adopte ce projet; mais, sur la proposition de M. Fresnel, elle prie M. le directeur général de le soumettre au Conseil général des ponts et chaussées, avant de le revêtir de son approbation, afin que la question d'art soit jugée d'une manière définitive, et avec toutes les formalités qu'exige la gravité des circonstances.

Les membres de la Commission : Halgan, de Prony, Tarbé de Vaux-Clairs, de Rossel, Mathieu et A. Fresnel, *secrétaire.*

---

duire une pression de 275 kilogrammes par mètre carré de superficie, la pression

totale sur la tour serait........................	62,633^{k}	
Son bras de levier, ou la distance de son centre d'impression à la plate-forme du soubassement, où l'on suppose que la rupture aurait lieu, étant de...........	22^{m},48	
Le moment de la force tendant au renversement serait d'environ..................................		1,408,000^{k}
Poids de la tour au-dessus du soubassement.......	2,080,000^{k}	
Le bras de levier avec lequel ce poids s'oppose au renversement, s'il était égal au rayon de la base, aurait une longueur de 3^{m},48. Mais, en supposant le point autour duquel aurait lieu la rotation plus rapproché de 48 centimètres du centre de la tour, eu égard à l'écrasement qui s'opérerait dans la maçonnerie, ce bras de levier serait réduit à.........................	3^{m},00	
Le moment de la résistance au renversement aurait donc pour valeur...........................		6,240,000

C'est-à-dire que, dans les circonstances les plus défavorables, il serait quatre fois et demie plus grand que le moment de la force tendant à renverser la tour.

XXIV.

DOCUMENTS

RELATIFS

À LA FABRICATION DES APPAREILS D'ÉCLAIRAGE[a].

N° XXIV[1].

NOTE

SUR LES RENSEIGNEMENTS À PRENDRE À LA MANUFACTURE DE GLACES DE SAINT-GOBAIN[b].

[...janvier 1822.]

M. le directeur général des ponts et chaussées, après diverses expériences faites à l'Observatoire et à l'arc de triomphe de l'Étoile, a

---

[a] La fabrication des appareils lenticulaires n'a pas été le problème le moins difficile à résoudre pour l'inventeur du Nouveau système de phares, comme on en pourra juger en parcourant ce recueil de documents.

[b] Cette Note fut présentée, dans les premiers jours de janvier 1822, au savant directeur de la manufacture royale de glaces de Saint-Gobain, M. Tassaert, par Fulgence Fresnel, que son frère aîné avait délégué à cet effet. La négociation eut d'ailleurs tout le succès qu'Augustin avait pu s'en promettre, ainsi qu'il résulte de la lettre suivante, adressée par lui à M. Tassaert :

« Monsieur,

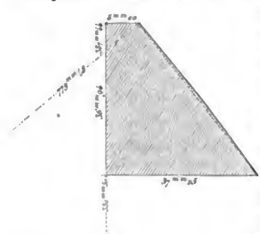
« L'accueil obligeant que vous avez eu la bonté de faire à mon frère, et dont il
« me charge de vous témoigner sa reconnaissance, me fait espérer que vous voudrez
« bien vous intéresser au succès de la fonte des prismes courbes de M. Soleil. Si elle
« réussit, comme tout porte à le croire, vous aurez rendu un grand service à l'é-
« clairage des phares. En attendant, M. Soleil continue à construire des lentilles
« avec des morceaux de verre refoulé; mais vous accélérerez beaucoup son travail,

N° XXIV[1]. décidé qu'il serait établi sur la tour de Cordouan un phare lenticulaire construit sur les dessins de M. Augustin Fresnel, ingénieur des ponts et chaussées. M. Soleil, ingénieur-opticien, chargé de la confection des *lentilles à échelons* destinées au nouveau phare, les compose de diverses pièces de rapport formées de morceaux de verre refoulé jusqu'à l'épaisseur de 18 à 20 lignes. Ces pièces, réunies au moyen de colle de poisson, forment des anneaux concentriques, qui sont d'une construction difficile et dispendieuse.

M. Soleil s'est adressé à la verrerie de Choisy-le-Roi pour faire couler des anneaux, soit entiers, soit en quatre ou six pièces; mais les morceaux ainsi préparés se sont éclatés en les travaillant.

M. Darcet, à qui M. Soleil a fait part de cette tentative infructueuse, lui a conseillé de s'adresser à la manufacture de Saint-Gobain.

Les pièces à fondre sont de diverses dimensions. On donne pour exemple l'anneau n° 6, dont le diamètre extérieur est de $0^{m},774$ ($2^{p}4^{p}7^{l}$) et le diamètre intérieur $0^{m},70$ ($2^{p}1^{p}10^{l}$). [Son profil en grandeur est figuré ci-contre.] Il s'agirait de le couler en glace, soit d'une seule pièce, soit en deux, quatre ou six pièces au plus. Il faudrait que les pièces ainsi coulées pussent être suffisamment recuites pour supporter le frottement du grès et de l'émeri, et ensuite le poli. Il faudrait que la matière fût belle,



«si vous avez la bonté de lui envoyer, par la voie la plus prompte, les premiers «prismes coulés.

«Agréez, etc. «A. FRESNEL.»

Bientôt, grâce au concours empressé de l'établissement de Saint-Gobain, on put réduire de beaucoup le nombre des subdivisions des anneaux concentriques des grands panneaux dioptriques, et les exécuter sous la forme annulaire normale, perfectionnement qui, dès les débuts, accrut de moitié leur effet utile.

c'est-à-dire n'eût point de stries, ou seulement des stries très-légères, et peu de bulles. Bien entendu que l'on emploierait la même composition que pour les glaces ordinaires, qui ont le grand avantage de conserver leur poli à l'air. N° XXIV[1].

Dans le cas où le succès serait jugé certain, M. Fresnel proposerait à M. le directeur général de demander pour M. Soleil, à l'Administration de la manufacture royale de glaces, de faire couler à Saint-Gobain les pièces des lentilles à construire, sur des moules en fonte qu'il fournirait.

N° XXIV[2].

AUGUSTIN FRESNEL À M. TASSAERT,

DIRECTEUR DE LA MANUFACTURE DE GLACES DE SAINT-GOBAIN.

Paris, ce 12 mars 1822.

Monsieur,

Fourniture de verres moulés.

M. Soleil a reçu les verres prismatiques que vous avez eu la bonté de lui envoyer, et en a trouvé la matière belle. Il vous prie de continuer à lui en faire couler dans les mêmes moules, jusqu'à la concurrence des nombres 10, 20, 30 et 40, pour les numéros 1, 2, 3 et 4, en déduisant les premiers reçus.

Il vous enverra, vers la fin de cette semaine, quatre couples de moules pour les numéros 5, 6, 7 et 8, et vous indiquera en même temps le nombre de morceaux qu'il lui faut.

N'ayant pas conservé les modèles des moules 1, 2, 3 et 4, il va essayer de les contre-mouler sur les morceaux de verre qu'il a reçus, pour vous envoyer un nouveau moule de chaque espèce.

Je vous prie, Monsieur, d'avoir la bonté de lui faire parvenir les morceaux que vous aurez fait couler sur les numéros 5, 6, 7 et 8, et le plus tôt possible, pour compléter la lentille dont vous lui avez envoyé les premiers numéros.

M. Soleil désire savoir combien ces verres lui coûteront la livre.

N° XXIV². Je vous prie de le traiter favorablement, afin qu'il puisse soutenir la concurrence des Anglais, quand ils copieront nos phares lenticulaires.

Agréez, etc.

A. FRESNEL.

N° XXIV³.

AUGUSTIN FRESNEL À M. TASSAERT.

[EXTRAIT.]

[Paris, le 21 avril 1822.]

Monsieur.

Fourniture de verres moulés pour dix panneaux lenticulaires.

..... Les nouveaux verres nous arrivent à propos; M. Soleil venait de composer une lentille *en verre refoulé* [a], et allait être obligé d'en refouler une seconde, pour ne pas laisser ses ouvriers sans ouvrage.

Il n'y a pas de mal que vous nous ayez envoyé un plateau de plus, parce qu'un des premiers se trouve avoir une *neige;* et, en général, il n'y a point d'inconvénient à couler un ou deux morceaux de plus de chaque espèce, à cause des accidents. D'ailleurs j'espère que M. Soleil aura plusieurs autres phares lenticulaires à exécuter, et qu'ainsi les morceaux restants seront utilisés.

La demande qu'il vous a faite est calculée pour dix lentilles : il lui faut conséquemment dix cercles de chaque espèce. Il a dû vous écrire combien il entrait de morceaux dans les nouveaux cercles dont il vous a envoyé les moules lundi dernier. C'est d'ailleurs une chose que vous pouvez vérifier avec les moules et des patrons de papier taillés dessus, en recomposant avec ces patrons des cercles entiers. Quant aux numéros 2, 3 et 4, je me rappelle qu'il faut par cercle deux morceaux du numéro 2, trois du numéro 3, et quatre du numéro 4. En déduisant donc des nombres 20, 30 et 40 ceux que vous avez envoyés, vous saurez combien il vous en reste à faire couler.

---

[a] Voir la Note N° XXIV¹.

Les verres dont M. Soleil a maintenant le plus pressant besoin sont ceux des numéros 5 et 6, et il vous prie de lui en envoyer le plus tôt possible. N° XXIV².

Agréez, etc.

A. FRESNEL.

N° XXIV³.

AUGUSTIN FRESNEL À M. TASSAERT.

Paris, ce vendredi 19 juillet 1822.

Monsieur,

Fourniture de verres moulés.

Nous sommes toujours très-reconnaissants, M. Soleil et moi, de l'intérêt que vous avez bien voulu porter à la fonte de nos prismes courbes, et je vous en témoigne publiquement ma gratitude dans un mémoire sur les appareils lenticulaires, dont je dois lire un extrait lundi prochain à l'Institut, et qui sera imprimé incessamment [a]. Mais, sans être très-difficile, on peut désirer que les verres aient des stries et des bulles moins marquées et moins nombreuses. C'est surtout dans les lentilles centrales que les stries me paraissent plus fortes. Nous savons qu'il est difficile d'éviter ces défauts; mais nous désirerions que vous eussiez la bonté de faire remettre au creuset les morceaux trop défectueux, parce que la petite perte qui en résulterait alors serait bien moindre que celle que supporte M. Soleil, quand il est obligé de rendre à votre administration des pièces qui payent deux ports et deux emballages. M. Soleil m'a dit qu'il consentirait volontiers à une légère augmentation de prix qui lui assurerait des prismes plus parfaits; mais c'est une chose que vous réglerez ensemble, lorsqu'il ira à Saint-Gobain. En attendant, il vous prie de continuer à lui envoyer des lentilles et des prismes de tous les numéros.

Agréez, etc.

A. FRESNEL.

---

[a] Voir le Mémoire N° VIII.

N° XXIV[5].

AUGUSTIN FRESNEL À M. WAGNER,

HORLOGER-MÉCANICIEN.

Paris, le 28 novembre 1822.

Monsieur,

Lampes mécaniques.

Occupé d'une affaire pressante, je n'ai pas pu vous donner aussitôt que je l'aurais désiré les renseignements que vous m'aviez demandés.

Il résulte, d'anciennes expériences sur le bec double, qu'il consomme 190 ou 200 grammes d'huile par heure dans les moments de plus forte combustion, et, de mes derniers essais, qu'il est bon de faire monter par heure 1 litre 1/2 d'huile dans ce bec, ou 700 gr. environ, c'est-à-dire trois fois et demie la quantité d'huile consommée. Vous voyez par là qu'il faudra encore un moteur assez fort pour ces becs. En les adaptant aux réflecteurs paraboliques d'un appareil à feux tournants, il ne me paraît guère possible de faire marcher leurs pompes par des poids, qui, n'ayant que peu de chute, devraient être très-lourds et augmenteraient la charge de l'appareil [a]. Si vous êtes obligé d'employer des ressorts, comme je le suppose, il sera difficile de leur donner assez de force pour élever 1 livre 1/2 d'huile par heure pendant toute la durée d'une nuit de quinze heures; mais on peut, à la rigueur, se borner à la moitié, c'est-à-dire à sept heures et demie ou huit heures, en exigeant des gardiens qu'ils remontent les ressorts à minuit. Il n'est

[a] Tout en s'occupant à réaliser le système d'éclairage maritime qu'il avait imaginé, Fresnel poursuivait les études qui lui avaient été demandées sur les moyens d'augmenter la puissance des anciens appareils catoptriques. La supériorité des appareils dioptriques, sous le double rapport théorique et pratique, ne fut définitivement reconnue par l'Administration qu'après le renouvellement du phare de Cordouan, opéré au mois de juillet 1823, et, depuis cette expérience décisive, les réverbères paraboliques ne furent plus employés à l'éclairage des phares que pour cause d'urgence et comme moyen provisoire.

point de phare où, dans les longues nuits d'hiver, ils ne soient obligés de moucher les lampes au moins une fois. N° XXIV[5].

D'après les anciennes expériences sur le bec triple, il dépense 421 grammes, et au plus 450. Si l'on multiplie ce dernier nombre par 3, on a 1350 grammes pour la quantité d'huile à élever par heure; je crois qu'il serait bon de la porter à 1500 grammes ou 3 livres.

Pour que l'huile du réservoir ne s'échauffe pas trop, j'estime qu'il doit en contenir le double de ce qu'on veut brûler. Or, en supposant que M. Maritz[a] tienne sa lampe allumée pendant dix heures, elle aura consumé 4500 grammes d'huile, dont le double est 9000 grammes, qui font un volume d'environ 9 litres 900 ou 10 litres. Il faut donc que le réservoir contienne 10 litres. Son diamètre intérieur étant de 9 pouces ou $0^{m},24$, la superficie de sa base sera $0^{mc},0452$, et sa hauteur devra être, en conséquence, $0^{m},221$.

J'ai l'honneur d'être, etc.

A. FRESNEL.

N° XXIV[6].

AUGUSTIN FRESNEL À M. WAGNER,

HORLOGER-MÉCANICIEN.

Paris, le 29 novembre 1822.

Monsieur,

J'ai enfin retrouvé les anneaux de l'ancien bec triple, et je viens de l'essayer sur votre lampe. J'ai reconnu qu'on pouvait se borner, à la rigueur, à y faire monter 2 livres d'huile par heure; mais alors la vivacité qu'il est nécessaire de donner au courant d'air rend les flammes un peu agitées. Le peu d'espace que vous avez laissé au volant ne m'a pas

Lampes mécaniques.

---

[a] Entrepreneur de l'éclairage des phares de Hollande. Il était venu étudier à Paris le nouveau système de phares, et avait proposé à son Gouvernement d'en faire un premier essai par l'établissement d'un phare lenticulaire de deuxième ordre.

N° XXIV 6. permis de l'agrandir assez pour chercher aussi la moindre quantité d'huile à faire monter dans le bec double; mais j'estime qu'on peut réduire à 1 livre les 700 grammes que je vous avais indiqués, en donnant un peu plus de hauteur à la cheminée. Il serait intéressant pour vous d'exécuter le plus tôt possible une lampe à ressort portant un bec double dans la forme convenable aux usages domestiques. J'espère être libre le 10 du mois prochain, et pouvoir faire à l'arc de triomphe de l'Étoile l'essai définitif de votre machine de rotation et de votre lampe à poids, en tenant celle-ci allumée pendant une nuit entière.

J'ai l'honneur, etc.

A. FRESNEL.

N° XXIV 7.

AUGUSTIN FRESNEL À M. SOLEIL PÈRE,

INGÉNIEUR-OPTICIEN.

Paris, le 12 juin 1824.

Monsieur,

Collage et rodage des éléments des lentilles. Préservation du tain des glaces.

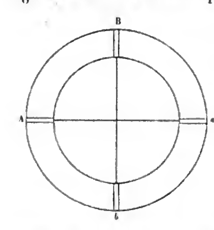
J'ai appris avec chagrin que tous vos collages de lentilles étaient à peu près terminés, et faits avec le lut de fromage et de chaux, qui est sujet à se retirer et à se détacher du verre. Je vous avais cependant prévenu, depuis le retour de M. Tabouret[a], que je l'avais chargé de faire sur le collage une série d'expériences, et qu'il était prudent d'en attendre le résultat, puisque rien ne pressait pour vos grandes lentilles. Vous avez pu voir que le lut auquel il est arrivé par un tâtonnement méthodique est bien plus tenace que le vôtre ou plutôt celui qu'on vous a enseigné à faire.

Lorsque vous m'avez communiqué, dernièrement, le procédé que vous suivez maintenant pour dresser et polir le côté plan de vos an-

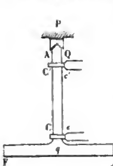
---

[a] Conducteur des ponts et chaussées, attaché à la Commission des phares. Après avoir coopéré à l'installation du grand appareil lenticulaire de la tour de Cordouan, il y avait séjourné, tant pour former les gardiens au nouveau service d'éclairage, que pour l'étudier dans tous ses détails.

neaux, je vous ai donné des conseils que je crois nécessaire de suivre. N° XXIV 7.
Je ne sais pas si je vous ai persuadé, mais je puis vous annoncer à l'avance que, si vous ne les suivez pas, vous aurez des anneaux mal centrés, et que vous ne ferez jamais de verres ardents bien corrects. Il ne faut pas se fier à ce que le plan est déjà assez bien dressé et que le bord de l'anneau a sensiblement la même épaisseur de tous les côtés; il est nécessaire que le mouvement du frottoir soit assujetti à des lois telles, qu'il tende à corriger les défauts du plan, si celui-ci en a, et à donner aux bords de l'anneau une épaisseur bien uniforme. Or, pour remplir ces conditions, il faut tout simplement : 1° après avoir donné rigoureusement la même épaisseur aux bords de l'anneau en quatre points A, *a*, B, *b*, poser une règle suivant A*a* et suivant B*b*, et la mettre de niveau en tournant les vis qui serviront à caler la plaque sur laquelle vous aurez mastiqué votre anneau; 2° substituer un ressort au poids qui fait presser le frottoir contre l'anneau, afin que ce frottoir appuie plus sur les parties hautes du plan de l'anneau que sur les parties basses; 3° enfin mettre une petite vis d'arrêt pour empêcher, en cas de besoin, le frottoir de descendre trop bas, et d'user mal à propos les endroits assez rodés.



Le mécanisme me semblerait encore plus parfait, si, au lieu de ne presser le frottoir que par une pointe, autour de laquelle il peut s'incliner dans tous les sens, il était guidé par une queue AQ, qui tournerait en haut dans une crapaudine P pressée par le ressort, et serait maintenue dans le bas par un collier C*c*. Je crois qu'un second collier fixe C'*c*' la maintiendrait encore mieux par le haut qu'une simple crapaudine. Vous voyez que, de cette manière, votre frottoir pourrait monter et descendre, sans s'incliner de droite ni de



N° XXIV[7]. gauche; en sorte que, si le plan de l'anneau était un peu incliné en dedans ou en dehors de la circonférence, le frottoir, ainsi maintenu, tendrait à corriger ce défaut; tandis que, dans la disposition que vous avez imaginée, il n'a pas cet avantage. On réglerait les colliers fixes Cc et $C'c'$ de manière que la queue du frottoir fût bien parallèle à l'axe du tour, c'est-à-dire verticale, en mettant un anneau sur une règle appuyée contre le plan Ff, que je suppose exactement perpendiculaire à la queue du frottoir.

Il me vient à la pensée un moyen très-commode de régler le masticage de vos anneaux, dans le cas où vous en travailleriez plusieurs à la fois, et de bien caler la plaque qui les supportera; mais je ne pourrais vous l'expliquer clairement que de vive voix. Je vous invite donc à venir demain matin chez moi, ou lundi matin, entre 8 et 9 heures.

Quant au moyen de préserver le tain de vos glaces du contact de l'air humide, je crois toujours que le taffetas gommé serait préférable au papier imperméable. Il faudrait qu'il fût exactement collé sur les bords du verre, et non pas sur les bords du tain, bien entendu. Peut-être suffirait-il, pour arriver au même but, après avoir construit le cadre en bois très-sec passé à l'huile bouillante, de le vernir intérieurement de façon à en boucher parfaitement les fentes ou joints et tous les pores. Puis, la glace une fois posée, après avoir mis un peu de vernis ou de mastic, en opérant à chaud, sur ses bords, pour la coller au cadre, on achèverait de boucher avec du mastic et du vernis les joints du pourtour et celui qui sépare les deux morceaux de glace, de manière à fermer toutes les issues par lesquelles l'air humide pourrait s'introduire derrière le tain.

J'ai l'honneur, etc.

A. FRESNEL.

N° XXIV⁸.

AUGUSTIN FRESNEL À M. TASSAERT.

Paris, le 26 juin 1825.

Monsieur,

Améliorations réclamées dans le coulage et le moulage des éléments des lentilles.

M. Soleil se plaint avec raison que vos ouvriers n'apportent pas assez de soin dans le coulage de ses anneaux. J'ai remarqué chez lui un grand nombre de morceaux de verre qui ne peuvent pas servir, quoiqu'ils contiennent bien assez de matière, parce qu'ils ont été mal coulés. Dans les uns, le côté plan présente une forte inclinaison, qui rend une des extrémités trop mince, tandis que l'autre est trop épaisse; dans les autres, les angles sont si défectueux que, en enlevant même une épaisseur de verre considérable, on ne pourrait pas obtenir une vive arête.

Grâce aux dimensions exagérées des moules, la plupart des morceaux que vous avez envoyés présentent assez de largeur et d'épaisseur pour être rodés, quoique dans tous les arêtes soient extrêmement arrondies. Ne serait-il pas possible d'obtenir des arêtes plus vives et un moulage plus correct, en faisant chauffer les moules et refoulant même la matière dedans, s'il était nécessaire. Si l'on était sûr qu'avec un peu de soin on fît prendre exactement au verre la forme du moule, on pourrait employer des moules plus étroits, ce qui diminuerait le travail du rodage.

J'ai l'honneur d'être avec la considération la plus distinguée,

Monsieur,

Votre, etc.

A. FRESNEL.



N° XXIV 9.

AUGUSTIN FRESNEL À M. BECQUEY,

DIRECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES.

Paris, le 25 juillet 1825.

Monsieur le Directeur général,

Proposition d'appeler M. Gambey à concourir à la fabrication des phares lenticulaires.

L'Administration des ponts et chaussées, ayant engagé M. Soleil à établir un atelier et les machines nécessaires pour la construction des phares lenticulaires, a dû le charger exclusivement, pendant quelques années, de cette fabrication. Mais actuellement que cet opticien se trouve presque remboursé de ses avances par les sommes qu'il a reçues de l'Administration pour le payement de ses fournitures, je crois qu'on peut sans injustice établir une concurrence, qui hâtera l'exécution des appareils nécessaires à l'éclairage des côtes de France et les perfectionnements dont ce genre d'industrie est encore susceptible. Quand même M. Soleil ne ferait que le tiers des appareils qui restent à construire, au prix qu'ils lui sont payés, il n'aurait pas lieu de se repentir de son entreprise; et, avec l'avance qu'il a sur ses concurrents, rien ne l'empêchera d'en faire la moitié.

Il ne s'agit pas ici d'une invention de M. Soleil, qui serait exploitée par d'autres artistes; tout appartient à l'Administration : les combinaisons optiques des appareils, le calcul des dimensions et des courbures de toutes leurs parties, et les procédés d'exécution.

En cherchant parmi les artistes les plus habiles de Paris un homme capable d'entreprendre avec succès ce genre de travail, j'ai réfléchi que les connaissances mécaniques et l'expérience des ouvrages de précision étaient ici les conditions les plus nécessaires : c'est ce qui m'a fait songer tout d'abord à M. Gambey, qui, jeune encore, s'est acquis une réputation européenne dans la construction des instruments de précision. Je lui ai demandé s'il entreprendrait volontiers la fabrication

des appareils lenticulaires, en lui présentant comme une perspective presque assurée la fourniture de la moitié de ceux qui restent à construire. Après avoir pris quinze jours pour réfléchir sur ma proposition, il m'a répondu qu'il était disposé à contracter cet engagement avec l'Administration. N° XXIV 9.

Vous avez approuvé mes démarches, Monsieur le Directeur général, la première fois que j'ai eu l'honneur de vous en parler, et récemment encore, lorsque la Commission des phares s'est occupée de cet objet, dans sa dernière séance. Vous avez pensé, avec M. Arago, qu'on ne pouvait pas confier à de plus habiles mains la construction de nos grands verres ardents, et que M. Gambey leur donnerait sur-le-champ toute la perfection dont ils sont susceptibles.

Il ne manque plus qu'une chose pour réaliser nos espérances : c'est un local où M. Gambey puisse établir les machines nécessaires à cette fabrication. Ce local est trouvé. C'est une petite partie des vastes bâtiments appartenant à l'administration de la Réserve de Paris, quai de l'Hôpital, n° 35. M. Gambey ne demande pas à y être logé gratis, mais à louer cette partie du bâtiment qui n'est pas occupée. Comme les frais de son nouvel établissement seront considérables, il désirerait contracter avec la ville un bail à long terme.

Avant qu'il fût question de confier la fabrication des phares à M. Gambey, M. Arago, dans le seul intérêt de la science à laquelle cet habile artiste fournit des instruments si précieux, avait déjà représenté à M. le Préfet [de la Seine] combien il serait important de faciliter l'agrandissement des ateliers de M. Gambey, en lui permettant de les placer dans ce local. Les observations de M. Arago furent accueillies favorablement. M. Busche, directeur de la Réserve, consulté sur ce sujet, répondit qu'il n'y voyait aucun inconvénient, et qu'il serait très-satisfait d'avoir un voisin tel que M. Gambey.

L'établissement des ateliers de M. Gambey dans ce local devant avoir une influence si importante sur la bonne et prompte exécution de nos phares, je suis persuadé que M. le Préfet lui accordera sa demande, surtout si elle est appuyée par votre recommandation.

N° XXIV 9. Je vous prie donc, Monsieur le Directeur général, de vouloir bien écrire à M. le Préfet de la Seine pour l'engager à louer à M. Gambey, par un bail à long terme, la partie non occupée des bâtiments de la Réserve, dans laquelle il désire établir ses nouveaux ateliers[a].

Je suis, etc.

A. FRESNEL.

N° XXIV 10.

RAPPORT

À M. LE DIRECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES,

SUR LA NÉCESSITÉ DE CONSTRUIRE UN CINQUIÈME APPAREIL LENTICULAIRE DE PREMIER ORDRE[b].

[12 décembre 1825.]

Monsieur le Directeur général,

Commande d'un cinquième appareil lenticulaire de premier ordre.

Par vos décisions en date du 29 novembre 1822 et du 17 novembre 1823, vous avez autorisé la construction de deux appareils dioptriques du premier ordre, l'un de seize demi-lentilles, et l'autre de huit grandes lentilles.

---

[a] Les négociations entamées avec Gambey pour l'engager à concourir à la fabrication des phares lenticulaires demeurèrent sans résultat, au grand regret d'Augustin Fresnel. Ses vœux et ses espérances, quant au développement et au perfectionnement de la brillante industrie qu'il avait créée, ne purent être réalisés que plusieurs années après sa mort, lorsque l'accroissement du budget de nos phares et les commandes de l'étranger eurent suffisamment élargi le champ de la spéculation pour une fabrication nécessitant un matériel aussi dispendieux.

[b] Ce Rapport fait entrevoir les embarras administratifs qui résultaient pour Fresnel de l'insuffisance du budget des phares et de l'impérieuse nécessité de soutenir l'atelier monté par M. Soleil père pour la fabrication des appareils lenticulaires. Bien que cet atelier eût été organisé sur l'échelle la plus restreinte, ses produits s'accumulaient en magasin, en attendant l'érection des édifices qui devaient les recevoir, et pour la plupart desquels il n'y avait pas même encore de programme définitivement arrêté.

Le premier, destiné d'abord au phare de Barfleur, l'a été ensuite à la tour de l'île Planier, dont les travaux seront sans doute terminés vers la fin du printemps prochain. N° XXIV[10].

L'appareil à huit lentilles, construit en dernier lieu, devait être placé sur cette tour, d'après le premier avis de la Commission des phares; mais elle a reconnu depuis que, la tour devant avoir peu de hauteur, les navigateurs ne pourraient pas profiter de toute la portée de ce feu, et qu'il vaudrait mieux y mettre un appareil de seize demi-lentilles; c'est d'ailleurs celui qui est indiqué maintenant pour ce point dans le tableau général de la distribution des différentes espèces de feux sur les côtes de France. Mais le même tableau place un appareil semblable au phare de Barfleur, l'un de ceux dont il est le plus urgent d'améliorer l'éclairage.

J'ai donc l'honneur de vous proposer, Monsieur le Directeur général, d'autoriser le sieur Soleil à construire un cinquième appareil composé de seize demi-lentilles, pour le phare de Barfleur.

Après avoir terminé le quatrième appareil, composé de huit lentilles, et qui pourra être placé à Belle-Île, cet opticien s'est occupé de la fabrication d'un appareil de seize demi-lentilles, dont une grande partie est déjà exécutée. L'approbation que vous donnerez à son travail, Monsieur le Directeur général, m'autorisera à vous présenter un état approximatif des ouvrages faits, et à vous proposer de lui faire donner un à-compte, dont il a grand besoin pour soutenir sa fabrique.

Je suis, etc.

A. FRESNEL.

AVIS DE LA COMMISSION DES PHARES.

Les membres soussignés de la Commission des phares sont d'avis :

1° Que le troisième appareil dioptrique, composé de seize demi-lentilles, et destiné d'abord au phare de Barfleur, soit placé sur la tour de l'île Planier, aussitôt qu'elle sera terminée;

rangée de verres cylindriques au milieu et trois étages de prismes cylindriques au-dessus et au-dessous. N° XXIV 11.

La rangée du milieu ou n° 1 aura 212^{mm} de hauteur.
La rangée n° 2 aura 54^{mm}.
La rangée n° 3 aura 42^{mm}.
La rangée n° 4 aura 38^{mm}.

Le rayon de courbure des verres sera :

pour le n° 1, 270^{mm};
pour le n° 2, $334^{mm}\frac{1}{4}$;
pour le n° 3, 397^{mm};
pour le n° 4, 463^{mm}.

La longueur de chaque pan intérieur du polygone ou celle de chaque verre du côté plan sera de 153 millimètres.

J'ai l'honneur d'être, Monsieur, votre très-humble, etc.

A. FRESNEL.

P. S. Quant aux glaces courbes qui doivent former la partie réfléchissante de l'appareil, il est très-probable que je les ferai roder moi-même, afin de ne pas vous demander trop de choses à la fois, et de ne pas retarder surtout l'achèvement du phare de Chassiron[a].

---

[a] Les premières glaces courbes, pour la partie accessoire des phares dioptriques du troisième ordre, furent en effet rodées et étamées dans l'atelier en régie originairement organisé pour la fabrication des petits fanaux catadioptriques destinés à l'éclairage des quais du canal Saint-Martin. (Voir le N° XXIV 9.)

N° XXIV 12.

AUGUSTIN FRESNEL À M. BONTEMPS,

DIRECTEUR DES VERRERIES DE CHOISY-LE-ROI.

Paris, le 4 août 1826.

Monsieur,

Verres défectueux fournis pour les grandes lentilles. Anneaux de verre pour les petits appareils catadioptriques.

J'ai tardé quelques jours à vous répondre, désirant m'assurer auparavant si la matière de votre dernière fonte était aussi pleine de bulles et de stries qu'elle me l'a paru au premier abord. Pour cela, j'ai fait tailler et polir deux facettes sur trois morceaux pris parmi ceux dont le verre paraissait le moins vilain, et j'ai reconnu que cette matière n'était pas recevable. Je m'exposerais aux justes reproches de mon Administration en acceptant du verre aussi rempli de défauts, et peut-être les ai-je déjà mérités en recevant votre première fourniture, que je suis décidé à ne pas faire employer.

Il n'y a que les anneaux du petit fanal qui seront travaillés, vu la nécessité d'essayer promptement ce système[a] d'éclairage de ville; d'ailleurs cette petite dépense ne regarde pas l'Administration des ponts et chaussées. . . . .

J'ai l'honneur d'être, etc.

A. FRESNEL.

---

[a] Nous ne reproduisons cet extrait de correspondance administrative que pour la date qu'il précise relativement à l'exécution des appareils catadioptriques destinés au canal Saint-Martin, dernière invention de Fresnel, sur laquelle ses manuscrits fournissent si peu de renseignements.

N° XXIV[13].

AUGUSTIN FRESNEL À M. JECKER JEUNE,

OPTICIEN (*).

Paris, le 8 août 1826.

Monsieur,

Fabrication des glaces courbes et des appareils catadioptriques de feux de port.

Sans fixer le prix des glaces pour le premier appareil que vous consentez à exécuter, il est cependant nécessaire que je puisse indiquer la limite de la dépense, en proposant à M. le directeur général des ponts et chaussées de vous charger de ce travail.

M. votre frère m'a paru persuadé que ces glaces courbes coûteraient moins, proportionnellement à leur superficie, que les lentilles d'un pied carré qui vous avaient été demandées par un Anglais, et que vous lui avez vendues 25 francs. A la vérité, ces lentilles n'étaient pas étamées et recouvertes d'un papier imperméable, comme le seront nos glaces; mais l'étamage et le papier sont peu de chose : la grande dépense est le rodage. Or il devait être plus considérable et plus dispendieux pour des lentilles qui avaient au moins 5 centimètres d'épaisseur au centre, en supposant les angles très-minces. J'imagine bien qu'elles avaient été coulées dans des moules ou refoulées de manière à approcher de la forme lenticulaire; mais il devait toujours y avoir beaucoup plus de verre à enlever que sur nos glaces. La matière a dû vous coûter aussi beaucoup plus cher, en proportion des surfaces.

Ainsi en vous proposant, Monsieur, de vous engager à ne point

(*) La connexité ici établie, et maintenue dans quelques-unes des pièces suivantes, entre la fabrication des *miroirs concaves* en glaces étamées et celle des *fanaux catadioptriques* (dits *feux de port*) semblerait être résultée de cette considération, que les anneaux catadioptriques à réflexion totale devaient tôt ou tard remplacer les zones accessoires de glaces courbes dans la composition des appareils d'éclairage maritime. On conçoit d'ailleurs que Fresnel n'eût pas hésité à provoquer immédiatement une amélioration d'un si haut intérêt, s'il se fût trouvé en mesure de la réaliser.

N° XXIV[13]. dépasser, pour le premier appareil, le prix de 25 francs par pied carré de glaces courbes étamées et recouvertes de leur papier imperméable, je crois vous accorder des conditions bien plus avantageuses que celles de votre marché relatif aux lentilles. D'après les essais que je viens de faire sur le rodage de ces glaces, je me suis assuré que l'Administration pourrait les avoir à meilleur marché en les faisant faire par régie; et je suis persuadé que, après avoir exécuté le premier appareil, vous reconnaîtrez qu'il vous est facile d'en diminuer le prix.

Je vous prie de me dire, Monsieur, si vous acceptez la condition de ne pas dépasser, pour ce premier travail, le prix de 25 francs par pied carré, afin que je puisse donner à la Commission des phares, dans sa prochaine séance, tous les renseignements dont elle a besoin.

Si vous désirez voir les plaques sur lesquelles j'ai fait coller les glaces, et le mode de suspension de ces plaques, ayez la complaisance de me prévenir du jour et de l'heure où vous viendrez chez moi, afin que je vous fasse conduire à l'atelier[a] par le conducteur qui a suivi ce travail. Il pourra vous mener aussi chez M. Touzet et vous expliquer le travail des anneaux [catadioptriques] que nous exécutons pour un petit fanal[b], anneaux qui ressemblent tout à fait (aux dimensions près) à ceux des feux de port que je vous ai proposé d'exécuter.

L'épure des feux de port et ses calculs sont terminés depuis vingt jours[c]. Je vous l'expliquerai et vous donnerai la note de toutes les

---

[a] L'atelier en régie qui, d'abord organisé au compte de la ville de Paris, pour la fabrication des petits fanaux catadioptriques destinés à l'éclairage des quais du canal Saint-Martin, devint, après diverses transformations, l'atelier et le dépôt central des phares.

[b] Le premier fanal catadioptrique de 20 centimètres de diamètre fut exécuté dans l'atelier de M. Touzet, opticien, par M. Tabouret, conducteur attaché au service central des phares.

[c] De cette indication ressort une date intéressante à noter. Il en résulte que ce fut du 18 au 20 juillet 1826 que Fresnel dressa le tableau pour la détermination du profil générateur des éléments optiques de ses appareils de *feux de port*. Quant au tableau relatif aux petits appareils du canal Saint-Martin, il avait dû être calculé dès le mois de janvier précédent.

dimensions et des rayons de courbure, lorsque vous viendrez chez moi. Je ne sais pas encore quand je pourrai sortir. N° XXIV[13].

Je ne pourrai vous faire de commande par écrit qu'après la prochaine réunion de la Commission des phares, qui aura lieu, j'espère, le vendredi de la semaine prochaine.

J'ai l'honneur d'être avec une parfaite considération, etc.

L'ingénieur en chef, secrétaire de la Commission des phares,

A. FRESNEL.

N° XXIV[14].

AUGUSTIN FRESNEL À M. JECKER JEUNE,

OPTICIEN.

Paris, le 19 août 1826.

Monsieur,

La Commission des phares m'a autorisé, dans sa séance d'hier, à vous commander un feu de port et les glaces courbes nécessaires pour un phare de troisième ordre, sans fixer le prix d'avance. Elle apprécie les raisons qui vous empêchent de satisfaire à cette condition avant l'essai de la fabrication d'un premier appareil.

Je n'ai pas encore l'autorisation officielle de M. le directeur général des ponts et chaussées; mais, ayant reçu son approbation verbale, je crois pouvoir vous inviter, dès à présent, à commencer le rodage des glaces pour un phare du troisième ordre; car c'est la chose la plus pressée, deux appareils de cette espèce devant être établis incessamment, l'un à Granville, l'autre à Aigues-Mortes. Nous avons aussi un besoin pressant de feux de port, et il nous en faudra beaucoup. Pour le moment, nous ne vous en demandons qu'un, ainsi que vous le désirez.

Je joins à cette lettre le tableau des dimensions et des rayons de courbure des miroirs d'un phare du troisième ordre; j'ai indiqué aussi dans ce tableau leurs flèches de courbure, afin que vous puissiez juger

N° XXIV[14]. s'il ne vous serait pas avantageux de faire bomber vos glaces avant de les roder.

Si vous voulez bien passer chez moi demain matin, ou lundi matin, je vous remettrai l'épure du feu de port et les patrons en carton des miroirs du phare du troisième ordre. Vous serez sûr de me trouver chez moi depuis 7 heures jusqu'à 10.

J'ai l'honneur d'être avec une parfaite considération, etc.

L'ingénieur en chef, secrétaire de la Commission des phares,

A. FRESNEL.

P. S. Je dois vous rappeler que la limite d'erreur tolérée sur la courbure des glaces est d'un cinquantième, c'est-à-dire que je ne pourrais pas accepter celles dont le rayon de courbure différerait de plus d'un cinquantième des longueurs fixées par le tableau ci-joint.

Quant à l'épaisseur des glaces, je désire qu'elle ne soit pas moindre de trois lignes après le rodage, et n'excède pas quatre lignes. Il serait commode pour l'encadrement que les glaces fussent à peu près toutes de la même épaisseur.

Il faut que les surfaces courbes de chaque miroir soient sensiblement parallèles; mais je n'exigerai pas à cet égard plus de précision qu'on n'en apporte dans le travail ordinaire des glaces de Saint-Gobain [a].

---

[a] Les démarches de Fresnel pour faire concourir MM. Jecker à la fabrication des phares lenticulaires demeurèrent sans résultat, ainsi que le constate le Rapport ci-après N° XXIV[22] (II). Après quelques essais infructueux, ces habiles artistes renoncèrent définitivement à s'engager dans une entreprise qui exigeait un outillage tout spécial, sans garantie de commandes suffisantes pour en couvrir les frais.

N° XXIV [15].

RAPPORT

DE LA COMMISSION DES PHARES

SUR LES MOYENS D'ACCÉLÉRER ET DE PERFECTIONNER L'EXÉCUTION DES APPAREILS D'ÉCLAIRAGE.

[22 août 1826.]

La Commission, ayant senti depuis longtemps que la concurrence entre deux fabricants était le moyen le plus sûr d'arriver à ce but, avait d'abord songé à M. Gambey, que ses procédés ingénieux et son rare talent pour la construction des instruments de précision ont mis au premier rang des artistes de l'Europe.

Mais, après avoir consenti à s'occuper de la fabrication des appareils lenticulaires, M. Gambey a paru y renoncer, en indiquant une époque éloignée pour le commencement de ce travail, et en ne prenant pas même d'engagement positif à cet égard, à cause de ses autres occupations.

La Commission a dû chercher, en conséquence, à donner un autre concurrent à M. Soleil, puisqu'on ne pouvait plus compter sur M. Gambey, et elle a pensé que MM. Jecker, qui ont de grands ateliers bien montés et une longue expérience des moyens d'exécuter en fabrique, étaient les artistes de Paris les plus capables de fabriquer les appareils lenticulaires avec toute l'économie et l'exactitude désirables. Elle espère que par leur concours l'Administration pourra obtenir à la fois une diminution dans les prix et une exécution plus parfaite.

MM. Jecker, auxquels cette fabrication a été proposée, ne demandent pas mieux que de s'en charger; mais ils n'ont voulu arrêter aucun prix avant d'avoir exécuté un appareil, pour se rendre compte de la dépense.

N° XXIV[15]. En conséquence, la Commission a l'honneur de proposer à Monsieur le Directeur général de commander à MM. Jecker un petit appareil lenticulaire de feu de port et les glaces courbes d'un phare de troisième ordre, sans fixer de prix d'avance. Ce travail est trop peu considérable pour compromettre en aucun cas les intérêts de l'Administration, et il suffira cependant à MM. Jecker pour juger du prix qu'ils doivent demander[a].

N° XXIV[16].

AUGUSTIN FRESNEL À M. SOLEIL PÈRE,

OPTICIEN.

Paris, le 31 août 1826.

Monsieur,

Rodage des glaces courbes.

J'ai vérifié, hier au soir, les deux glaces que vous m'aviez apportées, et j'ai trouvé leur courbure fort exacte; l'erreur pour les côtés convexes et les côtés concaves n'est pas d'un centième; il y a une des glaces dont les deux surfaces ont précisément le même foyer; dans l'autre, c'est celui du côté concave qui est le plus long; mais la différence n'est pas grande.

Si votre rodage se soutient à ce degré de précision, je n'aurai rien à vous demander. Il est cependant un autre genre d'exactitude sur lequel je dois rappeler votre attention : c'est le parallélisme approché des deux surfaces, qui est plus facile à atteindre et *plus essentiel dans le sens de la longueur des miroirs* que dans celui de leur largeur, parce que, dans celui-ci, le défaut de parallélisme ne fait diverger qu'horizontalement les rayons réfléchis à la première et à la seconde surface du miroir; tandis que la séparation des images suivant le sens de sa longueur les fait diverger dans le sens vertical; en sorte que, en inclinant le miroir de manière à diriger les rayons de la surface étamée vers l'horizon, on

---

[a] Voir les deux lettres précédentes (13) et (14) d'Augustin Fresnel à MM. Jecker.

envoie dans le ciel ou au pied du phare les rayons réfléchis sur la première surface. Sans doute ils sont beaucoup plus faibles que les autres, pour l'incidence perpendiculaire; mais ils ne sont point à négliger dans les incidences très-obliques, telles que celles surtout des miroirs numéros 5, 6, 7, 8, 9 et 10. Je vous invite donc, Monsieur, à ne rien négliger pour donner une épaisseur bien uniforme à chaque miroir, particulièrement dans le sens de la longueur.

J'ai calculé les rayons des miroirs rodés à la Réserve de Paris, et je les ai trouvés moins inexacts que je ne le supposais. Sur les quatre que j'ai essayés, il n'y en avait qu'un qui ne fût pas recevable; encore la différence de longueur de son rayon n'excédait-elle que de 4 centimètres l'erreur tolérée d'un cinquantième; mais il suffit qu'elle l'excède de 1 centimètre pour qu'un miroir ne soit pas recevable.

Il est évident que ces inexactitudes observées sur la courbure de ces miroirs depuis qu'ils sont décollés tiennent aux différences d'épaisseur du mastic, qui étaient fort grandes, à cause de la fausse courbure que les glaces avaient prise dans le bombage. Je crois toujours l'armature fort bonne et capable de donner des résultats très-satisfaisants, surtout quand on aura achevé de roder les plaques de fonte.

Il y a, je crois, plusieurs ciments qui mordent très-bien sur le fer et ne se ramollissent pas au feu : on pourrait peut-être en appliquer une couche mince sur chaque plaque, pour avoir une surface plus facile à roder.

J'ai l'honneur d'être, etc.

L'ingénieur en chef, secrétaire de la Commission des phares,

A. FRESNEL.

N° XXIV[17].

AUGUSTIN FRESNEL À M. JECKER,

OPTICIEN.

[Analyse faite par l'auteur.]

Paris, le 7 septembre 1826.

Rodage des glaces courbes et des verres des fanaux catadioptriques.

J'invite, par cette lettre, M. Jecker à commencer promptement le rodage des miroirs courbes du phare du troisième ordre, pour s'assurer si le moyen ordinaire du bassin qu'il veut employer lui donnera les courbures avec un degré d'exactitude suffisant. Je lui exprime mes doutes sur le succès de cette méthode, appliquée aux miroirs du premier ordre, dont la courbure est très-légère.

Je l'engage à suivre pour le *feu de port* les procédés que nous employons [en régie] pour le rodage des anneaux du *petit fanal de ville*, et je lui offre de le faire aider, dans l'établissement de son tour et de ses abatants, par M. Tabouret.

Je lui représente de nouveau l'inutilité de construire un tour aussi élevé que celui dont il m'avait parlé.

N° XXIV[18].

AUGUSTIN FRESNEL À M. BECQUEY,

DIRECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES.

Paris, le 7 septembre 1826.

Monsieur le Directeur général,

Exécution en régie des miroirs courbes étamés.

J'ai l'honneur de vous adresser en double expédition un mémoire du sieur Dunand, serrurier, relatif à la construction d'une grande armature en fer qui vient de servir à une expérience sur le rodage des glaces courbes des appareils d'éclairage. Cette expérience avait pour objet de vérifier d'abord si le procédé que j'avais conçu pouvait assurer

l'exactitude de l'exécution, et en outre de déterminer le temps employé à roder chaque miroir, afin de pouvoir donner à la Commission des phares des renseignements positifs sur le prix qu'on devait accorder aux fabricants pour ce genre de travail. Cette expérience a été sans doute un peu dispendieuse, mais il était difficile de la faire à moins de frais, et les résultats obtenus ne font point regretter la dépense. N° XXIV [18].

Je me suis assuré qu'avec l'armature en question on obtenait sûrement toute la précision désirable dans le degré de courbure des glaces, et que ce rodage n'était pas très-coûteux. Je suis en mesure maintenant de donner à la Commission les renseignements nécessaires pour fixer le prix de ces miroirs. Si les demandes des fabricants n'étaient pas assez modérées, malgré la concurrence qui vient d'être établie, l'Administration pourrait, à la rigueur, faire exécuter les miroirs courbes par régie, car elle a encore retiré cet avantage de notre expérience, que les conducteurs attachés à la Commission des phares se sont mis au fait des détails des moyens employés par les opticiens pour roder et polir le verre.

Je suis, etc.

A. FRESNEL.

N° XXIV [19].

AUGUSTIN FRESNEL À M. JECKER,

OPTICIEN.

Paris, le 9 décembre 1826.

Monsieur,

Inexactitude de la courbure des glaces rodées par M. Jecker. Armature des fanaux de port.

J'ai mesuré, hier au soir, la longueur focale de vos deux glaces concaves, et j'en ai conclu par un calcul très-simple la longueur des rayons de courbure. Pour les surfaces antérieures, c'est-à-dire les surfaces non étamées, elle est dans l'une et l'autre de $4^m,408$. Quant à la surface étamée, qui est la plus importante, puisqu'elle réfléchit beaucoup plus de lumière que l'autre, son rayon de courbure aurait $4^m,527$ dans le miroir n° 1, et $4^m,560$ dans le miroir n° 2, ce qui in-

N° XXIV[19]. dique une erreur de $0^m,250$ et de $0^m,283$ sur la longueur de rayon demandée.

Ainsi le procédé que vous avez employé, qui a l'inconvénient de rendre le rodage de ces glaces courbes beaucoup trop dispendieux, a encore celui de donner des courbures très-inexactes.

Ainsi que vous me le faisiez observer vous-même, je pense qu'il est inutile que vous m'envoyiez la note de la dépense occasionnée par cet essai, que vous avez entrepris pour votre instruction et votre satisfaction particulière. Ce n'est pas le moyen que je vous avais conseillé, et vous vous rappelez sans doute que je n'augurais pas bien du succès. Mais je n'ai point assez l'expérience de votre art pour trancher des questions de ce genre et vous prescrire les procédés que vous devez suivre : je dois me borner à vous communiquer les réflexions que me suggèrent le raisonnement et la géométrie. Je vois par cet exemple qu'on peut avoir quelque confiance dans leurs indications.

J'ai oublié de vous demander, Monsieur, quel est le prix de la monture en cuivre que vous avez faite pour le modèle des *feux de port;* j'aurais besoin de le connaître, parce que, s'il était trop élevé, je ferais le dessin d'une monture plus simple.

J'ai l'honneur d'être avec une parfaite considération, etc.

L'ingénieur en chef, secrétaire de la Commission des phares.

A. FRESNEL.

P. S. Je vous engage, Monsieur, à vous occuper le plus tôt possible de la fabrication des cadres des glaces, dont je vous ai donné le dessin, et de m'en faire connaître le prix aussitôt que vous aurez pu le fixer. Nous tenons beaucoup à trois choses pour ces cadres : à la solidité, à la légèreté et à l'*économie*.

N° XXIV 20.

AUGUSTIN FRESNEL À M. ROARD,

FABRICANT DE CÉRUSE, À CLICHY [a].

Paris, le 17 décembre 1826.

Monsieur,

L'Administration des ponts et chaussées s'occupe en ce moment des moyens de hâter l'exécution des appareils destinés à l'éclairage des phares. Le travail consiste principalement en des rodages de verres. On pourrait l'accélérer et y apporter une économie notable, en employant pour moteur une machine à vapeur, ou plutôt une petite partie de sa force. Tous les tours de l'atelier de M. Soleil, qui sont assez nombreux, sont mus par un seul cheval, et le manége fait encore marcher en sus le va-et-vient d'une machine à roder des glaces.

Emprunt temporaire d'une partie de la force de la machine à vapeur de M. Roard, pour un essai de rodage des glaces courbes.

Nous avons besoin d'une grande quantité de glaces courbes pour nos appareils [b], et je désirerais les faire roder par le procédé le plus économique. M. Darcet m'a dit que la machine à vapeur de votre fabrique de Clichy avait assez de puissance pour qu'il vous fût possible de céder et de louer à notre administration une petite fraction de sa force, telle qu'un *cheval* ou un *demi-cheval*. Votre amitié pour mon oncle [c] m'enhardit dans la démarche que je fais auprès de vous, Mon-

---

[a] Nous reproduisons cette lettre comme offrant quelques renseignements intéressants sur les dernières tentatives de Fresnel pour améliorer et accélérer la fabrication des pièces optiques de ses appareils d'éclairage.

[b] Les prix relativement très-élevés des pièces dioptriques, et surtout les progrès incessants de la maladie de langueur à laquelle Fresnel allait bientôt succomber, peuvent expliquer pourquoi il ne renonça pas dès lors aux *zones polygonales de miroirs*, pour y substituer des *zones catadioptriques* à réflexion totale, sinon *annulaires* (comme celles des petits fanaux du canal Saint-Martin), du moins *polygonales*.

[c] Léonor Mérimée, peintre, secrétaire perpétuel de l'École des beaux-arts.

N° XXIV[20]. sieur, et m'engage à vous demander si vous pourriez nous permettre d'essayer dans votre manufacture notre machine à roder les glaces, dont le double va-et-vient serait mû par votre machine à vapeur. Ce mécanisme occuperait peu de place. Il n'aurait qu'un mètre en carré, et, avec un demi-mètre autour pour circuler, il n'exigerait guère qu'une toise carrée. Quant à la force nécessaire, elle serait très-petite : ce serait celle de deux ou trois hommes.

Si notre essai réussissait, on pourrait ajouter à la première, dans le cas où vous n'y verriez point d'inconvénient, une seconde et même une troisième machine à roder, pour accélérer le travail. Peut-être aussi que, après l'avoir examiné, vous jugeriez avantageux pour vous de vous en charger, et de conclure à cet égard un marché avec l'Administration des ponts et chaussées, ce qu'elle préférerait sans doute à une régie. En suivant ce travail pendant quelques jours, votre chef d'atelier serait bientôt au fait de tous les détails et en état de le diriger lui-même.

J'oubliais de vous dire, Monsieur, que nos rayons de courbure pour les glaces des phares du troisième ordre ayant de 8 à 13 pieds de longueur, et la table qui doit porter les glaces devant avoir 2 ou 3 pieds de hauteur, il faudrait que nous pussions fixer le centre le plus éloigné à 15 ou 16 pieds au-dessus du sol. J'ignore si le plancher de votre usine est assez haut, ou si vous pourriez y pratiquer une petite ouverture pour laisser passer la partie supérieure de notre rayon. Il consiste dans quatre barres de fer réunies en pyramide quadrangulaire étroite, et dont le va-et-vient n'aura guère en bas que 30 à 40 centimètres de course dans les deux sens.

Je vous prie, Monsieur, d'avoir la bonté de me répondre le plus tôt qu'il vous sera possible. Je serais allé à Clichy vous faire ma proposition de vive voix, si je n'étais retenu ici par un rhume et des occupations pressantes.

J'ai, etc.

A. FRESNEL.

N° XXIV[21].

I.

EXTRAIT DU PROCÈS-VERBAL

DE LA SÉANCE DE LA COMMISSION DES PHARES

DU 29 DÉCEMBRE 1826.

Présents à la séance :

MM. Rolland, Sganzin, de Rossel, Beautemps-Beaupré, Arago et Fresnel.

Exécution en régie des miroirs concaves et des fanaux catadioptriques.

.... M. Fresnel rend compte à la Commission du peu de succès des essais commencés par MM. Jecker pour le rodage des glaces courbes des phares du troisième ordre; il propose de faire exécuter par régie des *glaces courbes* et des *feux de port*, sous la surveillance de MM. Boulard et Tabouret, conducteurs attachés à la Commission, dans un local que M. le Préfet de la Seine veut bien prêter à cet effet.

La Commission adopte la proposition et décide qu'elle sera soumise à l'approbation de M. le Directeur général.

....

N° XXIV[21].

II.

[2ME] RAPPORT

DE LA COMMISSION DES PHARES

SUR LES MOYENS DE HÂTER LA FABRICATION DES FEUX DE PORT ET DES GLACES COURBES DES APPAREILS LENTICULAIRES,

ET D'ACQUÉRIR LES DONNÉES NÉCESSAIRES POUR EN ÉVALUER LES PRIX.

[Séance du 29 décembre 1826.]

Les essais de MM. Jecker, relativement au rodage des glaces courbes des appareils du troisième ordre, n'ont point encore produit de résultat avantageux, ni sous le rapport de l'exactitude d'exécution, ni sous celui de l'économie des prix.

Quant aux feux de port, ces artistes n'en ont encore fait que le modèle en bois et la monture en cuivre qui doit porter les anneaux de verre.

Le travail de ces anneaux est compliqué et présente des difficultés. Elles ont été surmontées dans la fabrication d'un appareil presque semblable, que M. Fresnel a présenté à la Commission, et qui a été exécuté sous sa direction par M. Tabouret, conducteur des ponts et chaussées. Cet appareil a été construit d'après la demande de M. le Préfet de la Seine, qui a chargé M. Fresnel de lui présenter un système d'éclairage pour les quais du canal Saint-Martin.

M. Tabouret, qui vient d'acquérir dans ce travail l'expérience de toutes les précautions à prendre pour la bonne exécution des anneaux de verre des feux de port, pourrait, dès à présent, commencer à en fabriquer, tandis que M. Boulard, conducteur également attaché à la

Commission, suivrait le rodage des glaces courbes des phares du troisième ordre de Granville et d'Aigues-Mortes. Ce travail se ferait par régie, sous la direction de M. Fresnel, dans un local que M. le Préfet de la Seine veut bien lui prêter. N° XXIV[21].

Cette régie aurait le double avantage : 1° de hâter la fabrication des feux de port et des glaces courbes du troisième ordre, dont on a un pressant besoin; 2° de procurer des données positives sur les frais de main-d'œuvre.

Ces renseignements fournis par l'expérience procureront à la Commission le moyen d'évaluer les prix que l'Administration des ponts et chaussées peut accorder aux fabricants dans les marchés qu'elle doit passer avec eux pour la fourniture des appareils destinés à l'éclairage des phares. Car on ne peut guère espérer d'obtenir des prix modérés, ainsi qu'une bonne et prompte exécution de ces appareils, qu'en faisant une commande assez considérable pour indemniser le fabricant des frais d'établissement des machines nécessaires au rodage des verres; et, d'un autre côté, l'Administration ne peut pas contracter des engagements aussi étendus sans avoir fixé les prix d'avance.

M. Fresnel pense que six mois suffiront pour fournir sur les prix les renseignements dont on a besoin, et que, en prolongeant le travail jusqu'à la fin de l'année, on sera certain de couvrir les frais de l'établissement des machines. La Commission est aussi d'avis que ce travail par régie soit commencé dès à présent et continué jusqu'à la fin de l'année 1827[a], ou même plus longtemps encore, si l'expérience démontre qu'il offre une économie sensible.

CONCLUSIONS.

En conséquence, la Commission a l'honneur de proposer à Monsieur le Directeur général d'autoriser M. Fresnel à établir un atelier pour la fabrication des feux de port et des glaces courbes des phares, et à faire

[a] A. Fresnel mourut le 14 juillet de cette même année.

N° XXIV[21]. faire ce travail par régie, sous la surveillance de MM. Boulard et Tabouret, conducteurs des ponts et chaussées[a]. Elle est d'avis de continuer la régie pendant toute l'année, afin de couvrir la dépense première de l'établissement des machines; mais elle espère que quelques mois suffiront pour lui donner sur les prix de main-d'œuvre les renseignements qui lui manquent, et sans lesquels elle ne saurait juger si les demandes des fabricants sont raisonnables ou exagérées.

Paris, le 29 décembre 1826.

N° XXIV[22].

AUGUSTIN FRESNEL À M. ROARD[b].

Paris, le 30 décembre 1826.

Monsieur,

Emprunt d'une force motrice pour le rodage des glaces courbes, etc. Désistement de M. Gambey.

M. Gambey, à qui j'ai fait la proposition dont je vous avais parlé, ne peut pas l'accepter, étant obligé de donner tout son temps à ses travaux habituels, et ne voyant pas dans cette spéculation un bénéfice assez considérable pour le décider à les négliger momentanément. D'un autre côté, la nécessité de construire un atelier pour profiter de la machine à vapeur de M. votre frère entraînerait l'Administration des ponts et chaussées dans une dépense qui ne se trouverait couverte qu'autant que la régie produirait une grande économie et se prolongerait assez longtemps. Cette condition de poursuivre le travail pendant

---

[a] Cette mesure, commandée par une évidente nécessité, reçut la sanction administrative, et l'atelier créé depuis quelques mois pour exécuter en régie, au compte de la préfecture de la Seine, de petits appareils catadioptriques destinés à l'éclairage du canal Saint-Martin, fut ainsi transféré à l'Administration des ponts et chaussées. Pour hâter la nouvelle organisation, Fresnel fit l'avance des premières dépenses en équipages mécaniques et journées d'ouvriers, ainsi qu'il résulte de la lettre adressée par lui à M. Becquey, sous la date du 12 avril 1827 (N° XXIV[25]).

[b] Voir la lettre N° XXIV[20].

quelques années serait d'ailleurs nécessaire à remplir pour que M. votre frère pût nous donner la préférence sur le fabricant de draps qui lui fait des offres en ce moment. Or je sens que je n'ai ni assez de loisir, ni assez de santé pour me charger d'une régie de longue durée. Je vous prie donc, Monsieur, de prévenir M. votre frère que j'ai renoncé pour le moment à roder nos verres à l'aide d'une machine à vapeur, et qu'il doit considérer ma proposition comme non avenue. N° XXIV 22.

Les petits essais de rodage par régie que la Commission des phares m'a autorisé à commencer vont se faire à bras d'hommes, dans un local que M. le Préfet de la Seine veut bien nous prêter.

J'ai, etc.

A. FRESNEL.

N° XXIV 23.

AUGUSTIN FRESNEL À M. JECKER,

OPTICIEN (*).

Paris, le 16 janvier 1827.

Monsieur,

Ce n'est point le prix des moules en fonte brute, mais des moules tournés, comme vous le désirez, que je vous avais prié de me donner. Il me semblait cependant m'être bien expliqué sur ce sujet. Exécution des fanaux catadioptriques.

Vous pensez que, en tournant les moules pour en rendre la surface plus unie et plus correcte, vous obtiendrez sur le rodage des anneaux

---

(*) Voir la note de la lettre de Fresnel à MM. Jecker, du 8 août 1826 (N° XXIV 14).

Pendant que MM. Jecker se livraient à divers essais, qui, comme nous l'avons dit, demeurèrent sans résultat, la fabrication des glaces courbes pour les phares du troisième ordre et des appareils catadioptriques de 30 centimètres de diamètre, destinés à l'éclairage des entrées de ports, se poursuivait en régie, à l'atelier des phares, sous la conduite de M. Tabouret.

N° XXIV[23]. une économie de main-d'œuvre qui vous permettra de fabriquer nos *feux de port* à meilleur marché. Eh bien, ayez la complaisance de me faire savoir à peu près combien coûteraient ensemble tous les moules nécessaires pour un *feu de port*, en apportant dans la construction de ces moules tous les perfectionnements et toutes les additions qui vous paraissent utiles au succès de la chose.

Je vous prie, Monsieur, de me dire en même temps à quel prix vous pourrez nous livrer les cadres pour les glaces courbes, dont je vous ai donné le dessin.

J'ai l'honneur d'être, etc.

A. FRESNEL.

N° XXIV[24].

AUGUSTIN FRESNEL À M. BONTEMPS,

DIRECTEUR DES VERRERIES DE CHOISY-LE-ROI.

Paris, le 12 avril 1827.

Monsieur,

Fourniture de verre brut pour les fanaux catadioptriques, etc.

Le prisme que vous m'avez envoyé comme un échantillon de votre verre de soude m'a paru très-beau quant à l'homogénéité de la matière. Il y a peu de stries, ou plutôt elles sont très-légères. Mais il est, malheureusement, d'un vert assez prononcé. Cette couleur verte ne provient-elle point de la présence du fer, et ne pourriez-vous pas la faire disparaître ou l'affaiblir au moyen de l'oxyde de manganèse? Le sulfate de soude contient du fer, ou en est exempt, selon qu'on a décomposé le sel marin avec du sulfate de fer, ou avec l'acide sulfurique. Je serais porté à croire que celui que vous employez a été obtenu par le premier procédé. S'il en est ainsi, je vous engagerai, Monsieur, à faire une exception pour nous, en employant uniquement le sulfate de soude extrait par l'acide sulfurique, qui ne doit pas coûter beaucoup plus et qui, dans tous les cas, est bien moins cher que le sulfate de

potasse. Il me semble que, en choisissant en outre du sable et de la chaux bien exempts d'oxyde de fer, rien ne vous empêcherait d'obtenir une matière blanche. N° XXIV[24].

Je vous prie de me dire votre avis sur cette observation, aussitôt que vous aurez essayé ce que je vous propose, si vous le jugez nécessaire.

J'ai l'honneur, etc.

A. FRESNEL.

N° XXIV[25].

AUGUSTIN FRESNEL À M. BECQUEY,

DIRECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES.

Paris, le 12 avril 1827.

Monsieur le Directeur général,

Organisation d'un atelier en régie pour l'exécution des glaces courbes et des fanaux catadioptriques

J'ai fait des avances assez considérables pour l'établissement des machines de l'atelier destiné aux travaux en régie, que vous avez autorisés. Deux ouvriers ont commencé à y travailler depuis quelques jours, et leur nombre sera bientôt porté à huit. Vous jugerez sans doute, Monsieur le Directeur général, que les sommes nécessaires pour le payement de ces ouvriers, ainsi que pour les autres dépenses de l'atelier, devront être avancées dorénavant par l'Administration et déposées entre les mains de l'agent auquel vous aurez confié ces payements.

J'ai l'honneur de vous proposer pour régisseur M. Boulard, conducteur embrigadé, qui est chargé de surveiller le travail conjointement avec M. Tabouret.

J'estime que la dépense moyenne de chaque mois pour les journées d'ouvriers n'excédera pas 600 francs; mais comme ce travail occasionnera d'autres frais pour l'acquisition des matières et des outils nécessaires, surtout en commençant, je pense qu'il serait convenable que la première somme avancée par l'Administration fût de 1,000 francs au moins. Il

N° XXIV[25]. vous sera rendu compte, à la fin de chaque mois, Monsieur le Directeur général, de l'emploi de ces fonds [a].

Je suis, etc.

A. FRESNEL.

---

[a] L'organisation de cet atelier d'essai fut la principale occupation des derniers jours de Fresnel, et les résultats, qu'il put à peine entrevoir, dépassèrent ses espérances, sous le double rapport de l'économie et de la perfection des ouvrages. Indépendamment des *glaces courbes*, que devaient finalement remplacer les anneaux de verre à réflexion totale, l'atelier en régie, sous l'intelligente et active conduite de M. Tabouret, se trouva bientôt en mesure de fabriquer les appareils catadioptriques de quatrième ordre de manière à faire face aux besoins les plus urgents de l'éclairage des entrées de ports. Ces heureux résultats déterminèrent l'Administration à maintenir pendant quelques années encore un établissement dont la dépense était largement couverte par les produits, et qui devint bientôt doublement utile comme dépôt central des phares.

XXV.

EXTRAITS

DE

LA CORRESPONDANCE D'AUGUSTIN FRESNEL

RELATIVE AUX PHARES[(a)].

N° XXV[1].

AUGUSTIN FRESNEL À SON FRÈRE LÉONOR.

Paris, le 2 juillet 1819.

...... Je suis, depuis quelques jours, *adjoint* à la Commission des phares[(b)], comme me dit poliment le bon M. Sganzin[(c)]...........

Adjonction d'Augustin Fresnel à la Commission des phares.

...... J'ai déjà commencé à m'occuper des préparatifs des expériences, et du projet d'une petite charpente que je dois planter sur l'arc de triomphe de l'Étoile, pour établir dessus la lanterne des réflecteurs. Je voudrais n'avoir à m'occuper que de la partie d'optique;

(a) Ce dernier recueil d'extraits de la Correspondance d'Augustin Fresnel ne comprend pas de lettres dont l'importance relative ait pu motiver leur reproduction sous un numéro particulier; mais, considérées dans leur ensemble, elles ont paru présenter assez d'intérêt, au triple point de vue théorique, pratique et historique, pour figurer utilement dans notre publication.

(b) Cette adjonction ne devait être que *temporaire*, aux termes de la décision administrative du 21 juin 1819. (Voyez la première note du N° I, p. 5.)

(c) Inspecteur général des ponts et chaussées, membre de la Commission des phares. Il y remplissait, sous le titre de rapporteur, les fonctions de secrétaire, dans lesquelles Fresnel lui succéda en 1824.

N° XXV[1]. mais il est tout simple que, en ma qualité d'ingénieur ordinaire, je sois chargé de l'ennui de ces petits détails. . . . .

Fresnel est appelé à la chaire de physique de l'Athénée.

Arago, que les administrateurs de l'Athénée avaient consulté sur le choix d'un remplaçant [de M. Trémery], m'a proposé : on m'a accepté, et je me suis laissé engager par les conseils d'Arago, malgré le peu de vocation que je me trouve pour le métier de professeur. Mais je sens que c'est cependant celui qui peut le mieux s'allier avec le goût de la science, et combien il serait important pour moi de m'ouvrir cette nouvelle carrière. Si je ne réussis pas, j'en serai quitte pour battre en retraite. D'après ce qu'on m'a dit de l'Athénée, j'aurai un auditoire très-bénévole et qui se contente de peu. Je ne serai point assujetti à un programme, et bavarderai comme bon me semblera. Voilà sans doute bien des choses commodes, surtout pour un débutant; mais je crains que le beau monde qui m'écoutera ne m'intimide beaucoup. C'est au commencement de l'automne, je crois, que je dois commencer[a].

Il demande à être remplacé au cadastre du pavé de Paris.

Nous devons demander, Arago et moi, à M. Becquey, que Duleau[b] soit chargé de mon cadastre [du pavé de Paris] pendant que je vais faire des expériences sur les quinquets et les réverbères. Arago craint que nous n'ayons de la peine à l'obtenir, à cause de l'importance des travaux de Strasbourg, où Duleau est envoyé. Il a lu lundi dernier, à l'Institut, l'extrait d'un travail très-intéressant *Sur la résistance des fers*. Arago aura soin de dire cela à M. Becquey, pour lui faire sentir combien il serait avantageux, pour l'art des ponts et chaussées, de mettre Duleau à même de continuer ses recherches expérimentales et théoriques. . . . .

(a) Fresnel ouvrit son cours de physique au commencement du mois de décembre 1819; mais, dès le mois de février suivant, le mauvais état de sa santé et le surcroît de travaux que lui imposait son adjonction à la Commission des phares l'obligèrent à renoncer au professorat, pour lequel d'ailleurs il ne se sentait, disait-il, aucune vocation.

Il n'est resté de ses leçons que de simples notes, que ses éditeurs ont jugé inutile de reproduire.

(b) Savant et habile ingénieur, ami de Fresnel. On doit à Duleau un excellent mémoire *Sur la résistance du fer forgé*.

N° XXV².

AUGUSTIN FRESNEL À SON FRÈRE LÉONOR.

Paris, le 19 juin 1820.

Essai de la première lentille échelonnée.

...... M. Sganzin, qui va partir pour une tournée de cinq à six semaines, me charge de la partie de sa correspondance et des affaires relatives aux phares, autant du moins que M. de Rossel, auquel il remet son portefeuille, aura besoin de mes avis.

Ces deux messieurs ont été éblouis du spectacle que je leur ai donné, lundi dernier, de ma lentille[a], au foyer de laquelle j'avais placé notre bec quadruple, qui fait l'effet et la dépense de vingt becs de quinquet. Je leur ai fait observer que le problème n'était pas encore résolu de la manière la plus satisfaisante relativement à l'économie dans la consommation d'huile. Mais M. de Rossel m'a répété qu'il tenait fort peu à cette économie, et que l'essentiel était d'avoir de beaux effets.

En doublant la surface de la lentille, qui n'est que la moitié de l'ouverture des grands réflecteurs, on aurait, avec la même dépense d'huile, des effets beaucoup plus puissants, et, sous le rapport de l'économie d'huile, ce système de phares ne le céderait pas alors, je crois, à ceux où la lumière produite est le mieux utilisée, et il aurait sur eux plusieurs avantages importants.........................

[a] Il s'agit ici de la première lentille d'essai, de 55 centimètres de côté et de 70 centimètres de foyer, dont la superficie était à peu près moitié de celle de l'ouverture d'un réflecteur de 32 pouces de diamètre. [Voyez N° VI, p. 75, note (a).] Cette lentille *polygonale* était composée d'éléments à courbure sphérique.

N° XXV³.

AUGUSTIN FRESNEL À SON FRÈRE LÉONOR.

Paris, le 15 avril 1821.

Expérience sur les effets d'une grande lentille échelonnée, comparés à ceux des grands réflecteurs de Lenoir et de Bordier-Marcet.

. . . . . Nous avons fait, vendredi dernier, devant M. Becquey, une expérience comparative des grands réflecteurs de Lenoir et de Bordier-Marcet avec la nouvelle lentille[a] que vient de construire M. Soleil. Nous avons eu un temps assez favorable, quoique le jour dût nous porter malheur, puisque c'était à la fois un vendredi et le 13 du mois. Il fallait être un esprit fort pour choisir un pareil jour.

Les feux que l'on comparait étaient placés aux extrémités est et ouest de l'Observatoire, et les spectateurs étaient à Montmartre. Il y en avait beaucoup, outre les membres de la Commission des phares. M. de Rossel y a remarqué beaucoup de marins. Tout le monde. excepté M. Lenoir, est convenu de la supériorité de la lentille; mais M. Bordier-Marcet a annoncé à M. Becquey qu'il lui présenterait bientôt un feu beaucoup plus brillant que celui de la lentille; M. Becquey n'a pas paru ajouter grande foi à sa promesse.

M. Becquey a été enchanté de l'effet de la lentille, à ce que m'ont écrit M. de Rossel et M. Sganzin. Il désire annoncer ce succès dans le *Moniteur*, de peur que les Anglais ne s'attribuent la priorité de la découverte[b]. L'embarras est d'en dire assez pour la garder et pas assez pour leur faire connaître notre secret, qui, au reste, est déjà connu

---

[a] Grand panneau lenticulaire plan-convexe échelonné, de 76 centimètres en carré et de 92 centimètres de foyer. C'était le second essai d'une fabrication des plus difficiles et sans précédents, pour laquelle on n'avait encore ni les machines nécessaires, ni la matière première convenablement préparée. A défaut de tours montés pour la taille des zones concentriques sous forme *annulaire*, on les avait formées d'assemblages *polygonaux* d'éléments travaillés au bassin, et conséquemment à *courbure sphérique*.

[b] Les incessantes revendications de sir David Brewster n'ont que trop justifié les prévisions de M. Becquey.

N° XXV [3].

de beaucoup de personnes. Ce n'est pas que je veuille le leur cacher longtemps; mais je craindrais, si nous leur faisions connaître en détail notre mode de construction, qu'ils n'allassent plus vite que nous en besogne et n'eussent un phare de cette espèce établi avant nous.

Zones polygonales des lentilles échelonnées à remplacer par des zones annulaires.

J'espère d'ailleurs perfectionner encore nos lentilles, en exécutant des surfaces annulaires au lieu de portions de surfaces sphériques. J'ai indiqué pour cela, à M. Soleil, un mécanisme, que l'on construit dans ce moment[*] : l'essai qu'il a déjà fait, avec un appareil moins commode, nous assure du succès. Il a douci et poli une surface annulaire, en l'exécutant avec exactitude.

Ce perfectionnement des lentilles, qui sera déjà de quelque intérêt pour les phares, augmentera dans une bien plus grande proportion l'effet de ces lentilles comme verres ardents.

Expériences physico-chimiques à faire avec les grandes lentilles. Note à insérer au *Moniteur*.

Aussitôt que j'en aurai une construite en surfaces annulaires, je l'essayerai au soleil, en la plaçant sur le grand héliostat de l'Observatoire. Je suis persuadé qu'elle produira des effets étonnants. Je me propose de faire, à l'aide de ce puissant instrument, une petite série d'expériences physico-chimiques.

J'ai promis à M. de Rossel de lui remettre lundi la Note que demande M. Becquey; ainsi elle ne tardera pas à paraître dans le *Moniteur*. Je vais aller consulter Arago sur sa rédaction . . . .

Je ne sais si c'est l'état de malaise [où je me trouve] qui me rend presque insensible au succès de ma lentille; je croirais plutôt que c'est que je n'ai pas eu le plaisir de la surprise, m'étant rendu compte d'avance, par des mesures d'ombres, de l'effet qu'elle devait produire.

---

[*] Voyez la première note.

N° XXV⁴.

LE CONTRE-AMIRAL DE ROSSEL À AUGUSTIN FRESNEL.

Paris, le 24 juillet 1821.

Essai d'un phare lenticulaire en présence de M. Becquey.

J'ai l'honneur de saluer Monsieur Fresnel, et de lui faire part que M. Becquey m'a parlé hier du phare à lentilles et m'a demandé si l'on était en mesure de commencer bientôt les expériences. Je lui ai répondu que oui, mais d'une manière générale. Ma réponse ne l'a pas entièrement satisfait, et il a insisté pour que je lui en fisse connaître l'époque. Comme il m'était impossible de la connaître moi-même, je lui ai promis de lui apprendre mercredi quel était l'état des choses, et c'est pour savoir précisément ce qui en est que je m'adresse à Monsieur Fresnel.

M. Becquey va quitter Paris dans trois semaines pour aller faire une tournée dans les départements; il désire, mais très-vivement, voir l'effet du phare à lentilles avant de partir. Je crois qu'il serait du plus grand intérêt pour la chose de le contenter sur ce point, s'il est possible; et c'est de cette possibilité que je voulais moi-même vous parler, ou du moins connaître votre avis, afin de dire, mercredi, à M. Becquey ce qui aura lieu, sans craindre de l'induire en erreur. Je craindrais de vous déranger; ainsi, comme demain M. Arago pourra me transmettre votre opinion, vous pourrez la lui communiquer et vous concerter avec lui. J'irai aujourd'hui, probablement entre 3 et 4 heures, c'est-à-dire après 3 heures, chez Soleil, pour connaître l'état des lentilles achevées et ses nouvelles dispositions; par ce moyen, je pourrai donner tous les renseignements désirables et répondre à toutes les questions. Si cependant vous avez quelque chose en vue qu'il me serait impossible de prévoir, je serais bien aise d'en être informé, afin de pouvoir concourir avec plus de certitude au véritable but, et surtout ne pas faire par zèle des promesses qui pourraient vous embarrasser. Dans tous les cas, vous pourrez me faire part de vos réflexions, soit aujourd'hui chez Soleil, soit demain à l'Observatoire.

Je vous prie d'agréer l'assurance de mes sentiments les plus distingués.

ROSSEL.

N° XXV⁵.

AUGUSTIN FRESNEL À SON FRÈRE LÉONOR.

Paris, le 23 juillet 1822.

. . . .

Essai de l'appareil lenticulaire tournant destiné au phare de Cordouan.

Le phare lenticulaire qui est placé, depuis une dizaine de jours, sur l'arc de triomphe de l'Étoile, et que nous avons déjà allumé trois fois, a eu aussi l'honneur d'attirer l'attention d'un grand nombre d'honnêtes Parisiens. La Commission des phares a déjà fait une première expérience sur la portée des éclats, qui est très-grande, et se propose d'en faire encore plusieurs autres. M. Becquey attend le retour du roi à Paris pour lui en donner le spectacle. Je vois qu'on veut en jouir et qu'on ne se pressera pas de l'envoyer à Bordeaux, où d'ailleurs il arrivera toujours assez tôt, puisque ce n'est qu'au 1er juin prochain qu'il sera substitué à l'ancien appareil de la tour de Cordouan.

Les beaux dessins de cette tour que M. Wiotte[a] nous a envoyés ont rendu inutile mon premier voyage à Bordeaux, et je n'irai que l'année prochaine, pour l'installation du phare.

Mémoire sur la double réfraction. Rapport d'Arago.

J'espère que de lundi en huit, ou le lundi suivant au plus tard, Arago fera enfin son rapport sur le mémoire dans lequel j'ai donné l'*explication mécanique et les lois générales de la double réfraction*[b].

Il y a plusieurs autres mémoires de moi beaucoup plus anciens qui sont entre ses mains depuis quatre ou cinq ans. J'espère qu'il les tirera de la poussière l'année prochaine. . . . .

---

[a] Ingénieur en chef de la Gironde.

[b] Ce rapport fut présenté à l'Académie des sciences dans sa séance du 19 août 1822. (Voyez t. II, N° XLV, p. 459.)

N° XXV6.

AUGUSTIN FRESNEL À M. MARITZ PÈRE,

ENTREPRENEUR DE L'ÉCLAIRAGE DES CÔTES DE HOLLANDE (*).

Paris, le 31 janvier 1823.

Monsieur,

Essais comparatifs de l'huile de baleine et de l'huile de colza, avec une lampe à trois mèches concentriques.

J'ai tardé à vous écrire, espérant toujours que vous alliez bientôt arriver à Paris. Des travaux très-pressants, et qui se sont succédé sans interruption depuis plusieurs mois, ont d'ailleurs absorbé tout mon temps et me rendaient très-paresseux à écrire dans mes moments de relâche. Enfin je suis tombé malade peu de temps après avoir reçu votre huile, et ce n'est que depuis trois jours que j'ai pu commencer à la mettre en expérience.

J'ai employé un bec portant trois mèches concentriques, semblable à celui que vous avez commandé. Si j'avais eu plus d'huile, j'aurais employé le bec quadruple; mais je regarde l'expérience comme aussi concluante avec le bec triple. Les mèches étaient vieilles, avaient été exposées à l'air et à l'humidité depuis plus d'un an, puis étaient restées dernièrement imprégnées d'huile depuis deux mois que le bec avait été retiré de la lampe; c'est dire assez qu'elles étaient en aussi mauvais état que possible; mais dans ces becs à mèches multiples, le plus ou moins de disposition des mèches à bien filtrer l'huile n'a pas, à beaucoup près, autant d'influence que dans les becs ordinaires, sans doute à cause de la grande chaleur du foyer et du mouvement des pompes qui amènent l'huile en surabondance.

(*) La correspondance d'Augustin Fresnel avec MM. Maritz père et fils, entrepreneurs du service des phares de Hollande, nous a fourni plusieurs extraits intéressants sous le double rapport théorique et pratique; et, grâce aux obligeantes communications de M. Maritz fils, nous avons pu reproduire quelques lettres dont les minutes nous manquaient.

J'ai tenu le bec triple allumé d'abord pendant trois heures, en faisant souvent et longtemps monter les flammes au-dessus de la cheminée, puis je l'ai rallumé le lendemain, sans avoir mouché les mèches, et j'ai fait durer la combustion pendant onze heures et demie : ainsi les mèches ont été exposées à une combustion de quatorze heures et demie, sans qu'il ait été nécessaire de les moucher. Les flammes ont bien éprouvé à plusieurs reprises une tendance à baisser; mais il suffisait, pour les allonger, de hausser un peu les mèches, ou (ce qui vaut beaucoup mieux) de diminuer un peu le courant d'air de la cheminée avec l'obturateur. Enfin, quand j'ai éteint le bec, j'aurais pu continuer par ce moyen à avoir encore d'assez belles flammes pendant plusieurs heures. Le haut des mèches était cependant très-calciné, au point que les couronnes de charbon se sont cassées en plusieurs endroits lorsque j'ai abaissé les mèches pour les éteindre. Ce charbon déposé par l'huile de baleine pendant sa combustion m'a paru plus abondant et surtout plus dur que celui que laisse l'huile de colza, ce qui tient sans doute à la nature animale de celle-là; car on sait que les charbons provenant de la combustion des matières animales sont plus difficiles à incinérer que ceux des végétaux, à cause du phosphate calcaire qu'ils contiennent; et quoique les huiles soient les substances animales qui diffèrent le moins des substances végétales, il peut se faire qu'elles conservent encore un peu du caractère dont je viens de parler, c'est-à-dire qu'elles contiennent un peu de phosphate de chaux. J'ai remarqué d'ailleurs que votre huile avait, à un moindre degré que l'huile de colza, le défaut de former des champignons sur les mèches après une longue combustion; car, au bout de ces quatorze heures de combustion, il y avait à peine quelque commencement de champignons. N° XXV[6].

Dans une seconde expérience, j'ai tenu le bec triple allumé seulement pendant six heures trois quarts ou sept heures environ, n'ayant plus beaucoup d'huile de baleine, et désirant en conserver un peu pour l'essayer sur des becs ordinaires. Cette fois, je n'ai pas excité la combustion outre mesure, et, tout en donnant aux flammes un beau

N° XXV[6]. développement, j'ai fait en sorte qu'elles conservassent une hauteur à peu près constante. Elles sont restées fort belles jusqu'à la fin, sans que j'aie eu besoin de hausser les mèches, et en diminuant seulement un tant soit peu le courant d'air avec l'obturateur, deux heures avant d'éteindre.

Conclusion : l'huile de baleine peut servir comme l'huile de colza pour l'éclairage des phares.

Je conclus de ces deux expériences, et surtout de la première, que l'on peut, avec l'huile de baleine comme avec l'huile de colza, tenir les becs à mèches concentriques allumés pendant la durée des plus longues nuits d'hiver, et conserver aux flammes une belle hauteur et presque leur éclat primitif, sans être obligé de moucher les mèches.

Réflecteurs à placer du côté de terre, dans les phares non isolés en mer.

Vous m'avez fait, dans votre première lettre, une observation très-judicieuse sur le cas fréquent où le phare ne doit pas éclairer tout l'horizon, mais seulement une partie, qui souvent n'embrasse qu'une demi-circonférence. J'y avais songé, et j'avais pensé que, dans ce cas, on pourrait utiliser les rayons de la lumière centrale dirigés vers la terre, en les réfléchissant sur un miroir plan, suffisamment rapproché du centre pour que l'image ne fût pas trop excentrique, ou en les renvoyant par un miroir sphérique. Ce qui m'a sans doute fait oublier d'en parler dans mon Mémoire, c'est que, en le rédigeant, j'étais tout occupé du phare de Cordouan, qui doit éclairer tout l'horizon. Lorsque vous serez ici, je vous soumettrai plus en détail les moyens que j'ai imaginés pour utiliser le mieux possible les rayons dirigés vers la terre, et nous verrons ensemble quelle sera la disposition la plus convenable pour le phare que vous voulez éclairer.

Agréez, etc.

A. FRESNEL.

N° XXV[7].

AUGUSTIN FRESNEL À M. MARITZ PÈRE.

Paris, le 22 juin 1823.

Monsieur,

Expérience sur l'emploi du gaz pour l'illumination des phares lenticulaires.

Après plusieurs tâtonnements sur la forme qu'il fallait donner à un bec à gaz pour obtenir des flammes concentriques de hauteurs égales, nous sommes enfin parvenus à un résultat satisfaisant, comme cela était certain d'avance. C'est à un ouvrier très-intelligent, nommé Sauvage, que nous sommes redevables de la solution de ce problème. Nos premiers essais infructueux, et la grande expérience qu'il a acquise des becs à gaz dans la surveillance de l'éclairage de l'Opéra, dont il est chargé, lui ont fait découvrir plus aisément la disposition qu'il fallait donner aux différentes parties du bec à flammes concentriques, pour obtenir des flammes bien blanches et de hauteurs égales. Le bec qu'il a construit, placé au foyer d'une de nos grandes lentilles annulaires, produit un effet équivalent à onze cents fois environ la lumière d'un bec de quinquet alimenté avec de l'huile surabondante. D'après d'anciennes expériences faites à l'Observatoire avec le même bec de quinquet pris pour unité, et en plaçant le bec quadruple à huile au foyer d'une grande lentille, nous avions trouvé dans l'axe une intensité équivalente à 2200; en sorte que le bec de M. Sauvage, alimenté par le gaz provenant de la distillation du charbon de terre, qu'on emploie pour l'éclairage de l'Opéra, ne donne en intensité de lumière que la moitié de celle qui est produite par le bec quadruple à huile. Mais comme c'est le gaz provenant de la distillation des mauvaises huiles, ou autres matières grasses, que nous nous proposons d'employer à l'éclairage des phares, et qu'il résulte des expériences de M. Darcet que, sous le même volume, il donne trois fois plus de lumière que le gaz du charbon de terre, le même bec, alimenté par l'autre gaz, produira, avec la grande lentille, un éclat aussi vif que celui du bec quadruple à huile,

N° XXV7.

Accroissement de l'amplitude des éclats des grandes lentilles, à l'aide des becs à gaz.

et dont en outre la durée sera augmentée de moitié, parce que le diamètre du bec à gaz est une fois et demie aussi grand que celui du bec quadruple. Ainsi, dans l'appareil composé de huit grandes lentilles, la durée des apparitions du feu sera égale à celle des éclipses, et elle sera plus grande dans l'appareil composé de seize demi-lentilles. D'après ce que m'a dit M. Darcet, on doit attendre une grande économie de la distillation des mauvaises huiles ou autres matières grasses à vil prix, surtout en employant l'appareil simple et ingénieux qu'il vient d'établir à Enghien. Dans cet établissement on distille des huiles retirées des eaux qui ont servi au lavage des laines, lesquelles huiles ne reviennent qu'à 2 liards la livre. Sans compter, pour les cas ordinaires, sur un avantage aussi grand, on peut raisonnablement espérer que l'éclairage des phares par ce procédé coûtera deux ou trois fois moins qu'avec des lampes.

Appareil additionnel à feu fixe du phare de Cordouan.

Depuis votre départ, j'ai ajouté au système de huit grandes lentilles, destiné au phare de Cordouan, un petit appareil additionnel, au moyen duquel j'utilise les rayons qui passent par-dessous ces grandes lentilles et j'ajoute un feu fixe au feu tournant, sans augmenter en rien la dépense d'huile. J'ai aperçu ce feu fixe de Montmélian, qui est à 16,400 toises de la barrière de l'Étoile : il ne paraissait, à la vérité, que comme une faible lueur, surtout immédiatement après un grand éclat : mais enfin on ne perdait pas le feu de vue, et, à cette distance de 8 lieues de poste ou 6 lieues marines, il n'y avait pas d'éclipses absolues. D'un autre côté, l'intensité des éclats des lentilles était si supérieure à ce feu fixe (que je n'estime pas équivaloir à plus de cinquante becs de quinquet), que le phare conservait son caractère de phare à feu tournant, et présentait en même temps les avantages d'un feu fixe, du moins à cette distance.

Prochaine installation d'un appareil lenticulaire à Cordouan.

Je compte partir dans huit à dix jours pour établir l'appareil lenticulaire à Cordouan; je dois avoir terminé cette opération à la fin de juillet, et je m'empresserai de vous faire part de l'opinion de nos marins sur le nouveau phare. En attendant, je crois que votre Gouvernement ne court aucun risque de commander dès à présent un appareil lenti-

culaire à MM. Soleil et Wagner, pour l'avoir plus tôt. Néanmoins je présume qu'il préférera attendre que le nouveau système d'éclairage ait été établi à Cordouan. N° XXV[7].

Vous devez avoir reçu, Monsieur, depuis assez longtemps, la lampe à bec triple, avec les cheminées et les mèches que M. Wagner vous a envoyées. Il est surpris et un peu inquiet de n'avoir pas encore reçu de lettre de vous à ce sujet.

Agréez, etc.

A. FRESNEL.

N° XXV[8].

AUGUSTIN FRESNEL À M. MARITZ PÈRE.

Bordeaux, le 5 août 1823.

Monsieur,

Installation et effets de l'appareil lenticulaire tournant de Cordouan.

Je viens de terminer l'installation d'un appareil lenticulaire à la tour de Cordouan. Tous les marins de Royan et les officiers du stationnaire de la rade du Verdon ont été émerveillés (s'il n'y a pas d'exagération dans leurs compliments) de la vivacité et de la blancheur du nouveau feu. Les Anglais que les bains de mer amènent à Royan ont hautement proclamé la supériorité de ce phare sur tous ceux qu'ils ont vus en Angleterre. On peut craindre, en pareil cas, qu'il n'y ait un peu de flatterie dans les compliments qu'on reçoit. Si vous demandez aux marins de votre pays qui ont pu entrer dernièrement ou entreront prochainement dans la Gironde, ou qui apercevront le phare de Cordouan en passant au large, comment ils trouvent le nouveau feu, vous aurez des renseignements plus positifs, et d'après lesquels votre Gouvernement se décidera peut-être à établir aussi un appareil lenticulaire dans un des phares de la Hollande.

J'ai ajouté à l'appareil lenticulaire de Cordouan, qui est composé de huit grandes lentilles et de huit petites lentilles additionnelles,

N° XXV[8]. un autre appareil, composé de bandes de glaces étamées, disposées à peu près comme les feuilles d'une jalousie, et au moyen desquelles je forme un feu fixe avec les rayons passant au-dessous des grandes lentilles, lesquels sans cela seraient à peu près perdus pour les navigateurs. Ce feu fixe, quoique beaucoup plus faible que les éclats des petites lentilles, a néanmoins une grande portée. En remontant la Gironde j'ai reconnu qu'il était encore sensible et empêchait les éclipses d'être absolues à plus de 7 lieues marines de distance. Du côté du large, du moins dans la direction que j'ai suivie à l'ouest [du compas] de la tour de Cordouan, je ne m'étais pas éloigné de plus de 4 1/2 lieues marines, que déjà j'observais des éclipses absolues de dix à quinze secondes; il pouvait se faire que la direction constante que ma barque a suivie, en allant et en revenant, coïncidât avec celle d'un des montants en fer de la lanterne, qui sont assez gros pour masquer en tout ou en partie ce petit feu fixe. J'attribuerais plutôt à cette cause la différence observée qu'à l'inclinaison un peu plus prononcée que j'ai donnée aux bandes de glace du côté du large, pour faire plonger davantage leurs rayons sur les parties de mer et les écueils environnants. J'aurais voulu pouvoir faire le tour du phare; mais les vents n'étaient pas favorables à ce projet, et il m'aurait fallu rester vingt-quatre heures de plus en mer. Au reste, les renseignements multipliés que je recevrai bientôt des pilotes qui fréquentent ces parages me feront connaître la portée de ce feu fixe dans toutes les directions.

Portée de l'appareil additionnel à feu fixe.

Les gardiens se sont mis promptement au fait du service des lampes du nouvel appareil, qu'ils trouvent beaucoup moins pénible que celui de l'ancien phare. Il est possible que, dans un an ou deux, je leur fasse faire encore un nouvel apprentissage, en substituant le gaz à l'huile pour l'éclairage du phare de Cordouan, si nous trouvons, à distiller de mauvaises huiles, tous les avantages que M. Darcet m'a fait espérer.

Substitution éventuelle du gaz à l'huile.

Agréez, etc.

A. FRESNEL.

N° XXV°.

AUGUSTIN FRESNEL À M. MARITZ FILS.

Paris, le 12 septembre 1823.

Monsieur,

Je dois relever une erreur qui s'est glissée dans le compte que j'ai rendu à M. votre père des effets produits par l'*appareil à feu fixe* que j'ai ajouté au phare tournant nouvellement installé à Cordouan : ce n'est pas à plus de *sept* lieues, comme je crois l'avoir écrit, mais seulement à plus de *six* lieues marines que j'apercevais encore les effets du feu fixe, en remontant la Gironde. Il paraît, d'après les rapports des pilotes, qu'il n'a généralement que 4 lieues de portée du côté du large (je crois avoir fait plonger un peu plus les rayons réfléchis du côté de l'Océan que du côté de la rivière), ce qui est bien suffisant, au reste, pour l'objet que je me proposais, de ne plus laisser perdre le phare de vue aux navigateurs, quand ils approchent des écueils dont la tour de Cordouan est environnée.

Rectification d'une erreur au sujet de la portée du feu fixe accessoire de Cordouan.

Je n'espère guère pouvoir commencer avant trois mois d'ici des expériences sur le gaz d'huile appliqué à l'éclairage des phares, et je serai ainsi quatre mois environ sans avoir de résultats nouveaux à communiquer à M. votre père.

Agréez, etc.

A. FRESNEL.

N° XXV¹⁰.

AUGUSTIN FRESNEL À M. MARITZ FILS.

Paris, le 9 [et le 11] novembre 1823.

Monsieur,

Renseignements sur l'installation, les effets et le service du phare de Cordouan.

Je profite d'un moment de liberté pour vous donner les réponses que vous me demandez.

Le feu de la tour de Cordouan est élevé de 64 mètres au-dessus du niveau de la mer. Je pense que cette hauteur est suffisante pour les besoins de la navigation, et qu'elle ne doit pas être moindre dans un phare du premier ordre; car, à 3 lieues marines de distance, la rondeur de la terre cache déjà le phare de Cordouan à des observateurs placés sur les chaloupes de pilotes, dont le pont, à la vérité, n'est guère élevé que de 4 pieds au-dessus de l'eau.

D'après ce qu'ont rapporté des marins entrés dans la Gironde depuis l'installation du nouvel appareil, ils ont aperçu le nouveau feu à 11 lieues marines de distance, en montant dans la mâture des bâtiments de commerce sur lesquels ils naviguaient, et il leur paraissait beau encore à cette distance; mais l'éclat n'avait plus qu'une très-courte durée, de 4 à 5 secondes, je crois, et l'éclipse devait être, en conséquence, de 55 à 56 secondes, puisque la révolution entière de l'appareil, qui présente huit éclats, se fait en 8 minutes. A 7 lieues marines, par un temps ordinaire, chaque apparition est de 18 à 20 secondes, et chaque éclipse de 40 à 42 secondes; mais, à 11 lieues, on n'aperçoit plus, probablement, que la partie la plus brillante de l'éclat de la grande lentille, qui pourrait sans doute se voir encore de plus loin.

Cette grande portée serait superflue si l'atmosphère conservait toujours la même transparence; mais pour les mers sujettes aux brouillards, et même seulement dans les temps de pluie, les marins reconnaîtront qu'on n'a pas eu tort de sacrifier un peu la durée des éclats à

leur intensité et d'accroître beaucoup celle-ci, et ils diront avec Voltaire : *le superflu, chose si nécessaire!* N° XXV[10].

Au reste, des marins expérimentés, qui ont vu ce feu et que j'ai consultés sur la durée de ses éclats, l'ont trouvée suffisante pour relever le phare à la mer. Peut-être, sans le voisinage du phare de la tour des Baleines, dont les éclats se répètent de 90 en 90 secondes, aurions-nous fait faire à l'appareil sa révolution en 12 minutes, ce qui aurait donné des apparitions de 26 à 30 secondes et des éclipses de 60 à 64 secondes.

Le nombre des gardiens attachés au phare de Cordouan, en y comprenant le chef gardien, est de quatre, à cause de la situation de cette tour, qui est en pleine mer et entourée d'écueils, de manière que, dans la mauvaise saison, il s'écoule quelquefois deux mois sans qu'on puisse y aborder. Il n'y a ordinairement que trois gardiens à la tour : le quatrième est à terre.

Pour un phare comme le vôtre, qui n'est pas entouré par la mer, deux gardiens suffiront aisément au service de l'appareil, qui est extrêmement doux et ne leur demandera pas deux heures de travail par jour, mais exigera d'eux un peu de surveillance la nuit, particulièrement dans la seconde moitié des longues nuits, où il devient nécessaire de fermer un peu l'obturateur pour faire remonter les flammes. En comptant sur deux gardiens et sur la consommation annuelle de 6000 livres d'huile, il vous sera facile d'avoir une estimation approchée de la dépense d'éclairage d'un pareil système. Il faudrait qu'ils fussent bien maladroits, ou bien malheureux, pour casser plus de trente cheminées par an, et, en supposant même qu'ils en cassent soixante, cela ne ferait qu'une dépense de 210 francs, chaque cheminée coûtant 3 fr. 50 cent.

La Commission des phares a préféré les grandes lentilles pour Cordouan, parce qu'elle désirait que le nouveau feu, dont elle n'avait pas pu annoncer l'établissement longtemps à l'avance, différât le moins possible de l'ancien, qui présentait des éclats égaux en durée; tandis que l'appareil composé de seize demi-lentilles donne des éclats alternativement longs et courts. C'est un caractère dont nous nous proposons de

N° XXV[10]. tirer parti pour diversifier les phares à feux tournants sur les côtes de France, n'employant exclusivement ni les appareils composés de huit grandes lentilles, ni ceux qui portent seize demi-lentilles; seulement nous placerons de préférence les premiers dans les phares qui doivent avoir la plus grande portée.

Je crois que tout l'appareil de Cordouan revient à 28,000 francs; il est vrai qu'il y a trois lampes de 1,000 francs chacune, et que vous n'en demandez que deux; mais il me semble plus prudent d'en avoir trois, afin qu'il en reste toujours deux au phare, quand on en envoie une à raccommoder.

Prix du nouvel appareil d'éclairage du phare de Cordouan.

Les 9 grandes lentilles, à 1,200 francs chacune	10,800f
Les 9 petites lentilles additionnelles avec leurs miroirs	3,000
Le petit appareil à feu fixe	2,700
Total pour la partie optique, fournie par M. Soleil	16,500
3 lampes à mouvement d'horlogerie	3,000
Machine de rotation	3,000
Armature (trop chère, à mon avis)	4,000
Colonne de fonte, 5 ou 600 francs	500
	27,000
La table de service et son armature, le chariot de galets et le reste ne doivent pas s'élever à	1,000
Total	28,000f

Je n'ai pas en ce moment le temps de faire le relevé des comptes, et c'est de souvenir seulement que j'écris ce décompte, dans lequel je suis sûr de ne commettre aucune erreur grave.

J'ai l'honneur, etc.

A. FRESNEL.

Du 11 novembre 1823.

J'achève ma lettre, que je n'ai pas le temps de recopier, et je vous prie d'excuser ce brouillon.

N° XXV[10].

Le mémoire des objets fournis par M. Wagner, y compris 3 lampes à mouvement d'horlogerie, se monte à 11,800f

Partie optique, fournie par M. Soleil.	9 grandes lentilles à 1,200 francs	10,800
	9 lent. additionnelles avec miroirs	3,000
	Appareil à feu fixe............	2,600

Montant total de l'appareil et des pièces qui en dépendent.......... 28,200f

Question relative à la congélation des huiles par les grands froids.

Je réponds maintenant à votre CINQUIÈME QUESTION. — Il sera toujours très-facile d'enlever la lampe de dessus la table de service pour la tenir dans un lieu chaud pendant la gelée. Lorsqu'il ne fera pas trop froid, on pourra la laisser en place et se contenter de faire écouler l'huile par le robinet (comme il est bon de le faire, chaque matin, pendant toute l'année). A Cordouan, cette huile est jetée sur un filtre, dans lequel on remet tous les jours de nouvelle huile. Pendant l'hiver, les gardiens vont avoir soin de tenir près de leur cheminée l'huile filtrée nécessaire à la consommation de la nuit, et de la monter tiède dans le haut de la tour; ils envelopperont en outre le réservoir de la lampe d'une sorte de gilet de laine, et avec ces précautions il est probable qu'ils n'auront pas besoin de faire du feu dans la lanterne pour empêcher la congélation de l'huile. Mais ce que je ne puis prévoir, c'est s'ils n'en auront pas besoin pour empêcher les glaces de la lanterne de se couvrir de vapeurs gelées. Dans quelques mois d'ici, je pourrai vous communiquer le résultat de leurs essais et de leurs observations sur ce sujet.

J'arrive enfin à votre SIXIÈME QUESTION, à laquelle je crois avoir déjà répondu dans la première partie de cette lettre, en vous indiquant le nombre de gardiens nécessaires et la consommation d'huile. Quant aux cheminées, aux mèches et au nettoyage des lentilles, je ne puis pas croire que la dépense annuelle s'en élève à 1,000 francs. Néanmoins vous pouvez ajouter cette somme à la dépense d'huile et au traitement des gardiens, pour être sûr de ne pas vous tromper en moins.

N° XXV[10].

Dimensions et disposition de la lanterne pour un phare lenticulaire de premier ordre.

Neuvième question. — Vous pouvez très-bien déterminer le diamètre de la cage extérieure d'après la planche de mon Mémoire. Il ne faut pas la faire plus étroite; mais, plus large, elle n'en serait que plus commode pour le service. Celle de Cordouan, qui est bien assez large, a $3^{m},40$ de largeur intérieure dans les angles du dodécagone.

Dixième question. — Les petites glaces étamées de l'appareil à feu fixe ne descendent pas jusqu'au niveau de la table de service : par conséquent, on peut bien ne faire descendre les glaces de la lanterne que jusqu'au niveau de cette table, dont la hauteur vous est indiquée par la planche de mon Mémoire.

J'ai l'honneur, etc.

A. FRESNEL.

N° XXV[11].

AUGUSTIN FRESNEL À M. MARITZ PÈRE.

Paris, le 21 [et le 23] avril 1824.

Monsieur,

Nouvelles expériences sur un bec à gaz à cinq couronnes concentriques.

Les dernières expériences que j'ai faites sur un bec portant cinq couronnes concentriques et alimenté par du gaz d'huile m'ont donné les résultats les plus satisfaisants. L'intensité de la lumière dans la direction de l'axe de la lentille était au moins aussi forte qu'avec le bec à quatre mèches, et, vu le plus grand volume des flammes, la durée de l'éclat se trouverait augmentée de moitié; en sorte que, en plaçant ce bec à gaz au centre d'un appareil tel que celui de Cordouan, la durée des éclats serait égale à celle des éclipses. Je n'ai pas encore mesuré la quantité de gaz que consomme ce bec : j'espère le savoir sous une quinzaine de jours. Je suppose que la dépense d'éclairage ne dépasserait pas celle des lampes à bec quadruple, parce qu'on emploierait des matières grasses et des huiles de rebut à la fabrication de ce gaz.

N° XXV[II].

Abandon de l'idée de prolonger les éclats par de petites glaces fixées entre les montants.

J'ai tout à fait abandonné l'idée de prolonger l'éclat par de petites glaces fixées entre les montants : en y réfléchissant davantage, j'ai trouvé plusieurs inconvénients à cette disposition. Le petit feu fixe ajouté au feu tournant me paraît bien plus avantageux et moins gênant pour le service. Si l'on voulait prolonger la durée des éclats sans employer le bec à gaz, et en illuminant toujours l'appareil avec nos grandes lampes à quatre mèches, le meilleur moyen serait d'entourer la lumière centrale de huit petites lentilles cylindriques, qui feraient diverger les rayons seulement dans le sens horizontal. Alors on pourrait doubler la durée des portions d'éclat fournies par les grandes lentilles, en réduisant leur intensité à moitié, ce qui leur laisserait encore une portée bien suffisante et rendrait l'éclat plus uniforme et mieux nourri.

On pourrait atteindre le même but à l'aide de petites lentilles cylindriques.

Il faudrait que ces lentilles cylindriques fussent suspendues à l'appareil et tournassent avec lui ; mais on pourrait disposer tout cela de manière à ne point gêner le service de la lampe.

Essai d'un petit appareil dioptrique à feu fixe.

J'ai essayé dernièrement un petit appareil à feu fixe composé de lentilles cylindriques et illuminé par un bec à deux mèches, qui équivaut à quatre lampes et demie de Carcel. Il produit l'effet de quarante-huit lampes de Carcel dans les directions les mieux éclairées; dans celles des montants, qui sont les moins éclairées, il donne encore une lumière égale à vingt-deux lampes de Carcel. J'estime qu'un appareil construit dans le même système, mais sur des dimensions égales à celles de nos grands phares à feux tournants, produirait, avec un bec quadruple, l'effet de deux cent soixante à trois cents lampes de Carcel. J'espère que, avec le gaz d'huile ou de résine, on pourra porter l'intensité du feu à cinq cents becs de quinquet, sans une trop grande dépense d'éclairage.

Du 23 avril 1824.

Idée de prolonger les éclats en divisant les lentilles en deux parties.

On pourrait doubler la durée des éclats des grandes lentilles, en les composant de deux parties, dont les centres, au lieu de coïncider, seraient séparés par un intervalle de 9 à 10 centimètres. — Bien entendu que, en doublant la durée de ces éclats, on en réduirait l'in-

N° XXV[11]. tensité à moitié. Mais comme les anneaux sont travaillés entiers, peut-être résulterait-il de cette manière de les couper une augmentation dans le prix des lentilles.

J'ai l'honneur, etc.

A. FRESNEL.

N° XXV[12].

AUGUSTIN FRESNEL À M. MARITZ PÈRE.

Paris, le 17 mai 1824.

Monsieur,

Réponse faite aux questions de l'ambassadeur des Pays-Bas.

L'ambassadeur des Pays-Bas a demandé au Ministre de l'intérieur et a reçu de l'Administration des ponts et chaussées les renseignements que votre Gouvernement désirait avoir touchant les phares lenticulaires. Je crois qu'ils paraîtront complets et satisfaisants[a].

Moyens de prévenir la congélation des huiles dans les phares.

En rédigeant cette Note, je me suis aperçu que j'avais oublié de répondre à une de vos questions : c'est celle que vous m'avez faite sur la nécessité d'allumer du feu dans la lanterne. On n'en a point fait, cet hiver, à Cordouan, et l'huile s'est toujours maintenue liquide dans la lampe. On a remarqué même que celle qui restait dans le réservoir était tiède au moment où l'on éteignait la lampe. A la vérité, cet hiver a été plus doux que d'ordinaire, et l'hiver est bien plus rigoureux sur vos côtes qu'à Cordouan. Néanmoins je suis persuadé que, avec la seule précaution de faire chauffer l'huile un peu avant de la verser dans le réservoir, elle conservera sa fluidité pendant les nuits les plus longues et les plus froides, si vous employez du moins de l'huile semblable à la nôtre. Quant à la couche de glace que la gelée peut fixer sur les vitraux de vos lanternes, je ne crois pas que la chaleur de la lampe soit suffisante pour la faire fondre.

---

[a] Voyez N° X (C), p. 153, où la présente lettre est désignée, par erreur, sous le N° XXVIII[12].

Je viens d'obtenir les résultats les plus satisfaisants en employant le gaz d'huile dans un bec portant cinq couronnes concentriques, et en rendant la combustion du gaz plus parfaite, au moyen d'une cheminée de forme convenable. C'est vendredi dernier que j'ai fait cette expérience, en présence de M. le contre-amiral de Rossel[a]. Les cinq flammes étaient d'une blancheur éblouissante, et tranquilles comme celles d'un bec ordinaire. En mesurant l'intensité et l'étendue angulaire du cône lumineux produit par ce bec placé au foyer d'une de nos grandes lentilles annulaires, et les comparant avec celles du cône que donne la lampe à quatre mèches, j'ai trouvé que l'intensité était augmentée d'un quart, et l'étendue, de moitié; c'est-à-dire que, avec un pareil bec, les éclats seront une fois et demie aussi longs et plus brillants d'un quart en sus. Or la consommation d'huile s'est trouvée à peu près la même, car ce bec consommait 23 à 26 pieds cubes de gaz par heure, qui répondent environ à 1 livre 1/2 d'huile, et il faut noter qu'on peut employer à la fabrication de ce gaz des fèces d'huile et toutes les matières grasses de rebut.

N° XXV[12].

Résultats satisfaisants donnés par un bec à gaz à cinq couronnes avec cheminée de forme convenable.

Puisque, avec la lampe à quatre mèches placée au centre d'un appareil composé de huit grandes lentilles et de huit petites lentilles additionnelles, on a, à une distance de 6 lieues marines, des apparitions de 20 secondes, par exemple, contre des éclipses de 40 secondes, vous voyez, Monsieur, que, en employant le bec à gaz dans le même appareil, on aura 30 secondes de lumière, et l'on ne perdra le feu de vue que pendant 30 secondes.

Durée des éclats des grandes lentilles accrue de moitié par l'emploi du bec à gaz à cinq couronnes.

On aurait encore des éclats plus longs, relativement à la durée des éclipses, en plaçant ce bec au centre d'un appareil composé de seize demi-lentilles et de huit ou seize petites lentilles additionnelles. C'est, je crois, la combinaison qui satisferait le plus les marins, et que nous emploierons probablement de préférence sur les côtes de France.

Agréez, etc.

A. FRESNEL.

---

[a] Voyez N° XXII (B)[5], p. 319.

N° XXV[13].

AUGUSTIN FRESNEL À M. BECQUEY,

DIRECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES.

Paris, le 7 juin 1824.

Monsieur le Directeur général,

Réponse à la décision de M. Becquey conférant à Augustin Fresnel les fonctions de secrétaire de la Commission des phares.

J'ai reçu la lettre par laquelle vous m'annoncez ma nomination à la place de secrétaire de la Commission des phares. Je vous prie d'agréer mes remercîments.

En m'attachant d'une manière fixe et spéciale aux travaux de la Commission pour le perfectionnement de l'éclairage des côtes, vous m'avez chargé, Monsieur le Directeur général, de fonctions qui me sont très-agréables. Elles me mettent dans la position où je puis être le plus utile, en secondant vos vues bienfaisantes pour la sûreté des navigateurs.

En administrateur éclairé, vous savez, Monsieur le Directeur général, mettre chacun à sa place pour en tirer tout le parti possible, et vous donnez des encouragements à toutes les inventions utiles. J'aurais donc pu prévoir la détermination que vous venez de prendre à mon égard, lors même que vous ne m'auriez pas prévenu depuis longtemps de vos intentions. Mais si je n'éprouve pas en ce moment le plaisir de recevoir une récompense inattendue, ma reconnaissance n'en est pas moins vive et profonde.

Je suis, etc.

A. FRESNEL.



N° XXV[14].

AUGUSTIN FRESNEL À M. MARITZ FILS.

Paris, le 4 juillet 1824.

Monsieur,

J'ai égaré votre lettre, mais je crois me rappeler assez bien ce qu'elle contenait pour y répondre sans l'avoir sous les yeux.

Explications relatives aux expériences photométriques.

J'entends par *becs de quinquet* la lumière que donne un quinquet de dimension ordinaire, tel que la lampe astrale avec laquelle nous avons mesuré, M. votre père et moi, à l'Observatoire, le 9 mars 1823, l'intensité de lumière d'une grande lentille et d'une demi-lentille annulaires. Il est résulté de cette expérience que le maximum de lumière de la grande lentille équivalait à 2767 becs de quinquet, et celui de la demi-lentille, à 1673.

Le bec ordinaire, alimenté par de l'huile surabondante, et qui est un peu plus gros, je crois, que celui de ma lampe astrale, donne à peu près la même lumière qu'une lampe de Carcel; et quand je compte les intensités de lumière en *lampes de Carcel*, c'est ce bec à huile surabondante que je prends pour unité.

Le meilleur moyen de prolonger les éclats paraît être l'emploi de seize demi-lentilles, au lieu de huit grandes lentilles carrées.

Depuis la dernière lettre que j'ai eu l'honneur de vous écrire, j'ai beaucoup réfléchi aux divers moyens de prolonger la durée des éclats, et je n'en vois pas de meilleur que de mettre seize demi-lentilles dans l'appareil au lieu de huit lentilles carrées. Le résultat de l'expérience que je viens de citer prouve qu'une demi-lentille donne plus de la moitié de l'intensité d'une grande : ainsi les seize demi-lentilles remplaceront déjà les huit lentilles carrées avec avantage ; de plus, l'appareil supplémentaire qu'il faudrait suspendre autour du bec quadruple, pour prolonger les éclats des huit lentilles carrées, occasionnerait quelque perte dans les rayons lumineux, et rendrait le service de la lampe un peu moins commode. D'après toutes ces raisons réunies, il me semble qu'on

N° XXV[14]. doit donner la préférence au phare composé de seize demi-lentilles verticales.

Question relative aux lentilles additionnelles au nombre de huit ou seize.

Quant aux lentilles additionnelles, si vous voulez avoir des éclats égaux, il faut aussi qu'elles soient au nombre de seize, ce qui oblige d'en augmenter les dimensions, afin qu'elles aient chacune à peu près autant de superficie et de portée que celles de l'appareil de Cordouan. Il résulte de là que la superficie totale de l'appareil des lentilles additionnelles se trouve doublée, et, par suite, son prix, qui était de 3,000 fr. montera sans doute à peu près à 6,000 francs. Du moins, M. Soleil, à qui j'ai montré la nouvelle épure des seize lentilles additionnelles, pense que l'augmentation de dépense pourra bien s'élever à 3,000 francs; mais il croit pouvoir s'engager d'avance à ne pas demander davantage, en faisant les seize cadres des glaces en cuivre, au lieu de les faire en bois, comme au phare de Cordouan. Au reste, avec cet appareil, les éclats devenant aussi longs que les éclipses, le feu fixe, qui coûte près de 3,000 francs aussi, est tout à fait inutile. Si vous éclairez cet appareil avec le bec à gaz dont je vous ai parlé, comme cela ne peut manquer d'arriver par la suite, les éclats auront une durée au moins double de celle des éclipses; en sorte que le phare présentera sensiblement les mêmes avantages qu'un feu fixe, avec une portée bien supérieure à l'instant du maximum de chaque éclat.

Permettez-moi, Monsieur, etc.

A. FRESNEL.

N° XXV[15].

LE DIRECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES

À M. AUGUSTIN FRESNEL.

Paris, le 9 août 1824.

Invitation d'accueillir M. Robert Stevenson, venu en France pour étudier le nouveau système de phares.

Monsieur, M. Robert Stevenson, directeur des fanaux des Îles-Britanniques est venu en France pour y visiter les établissements de cette nature. Son Exc. M. l'Ambassadeur d'Angleterre m'a prié de lui donner les facilités dont il a besoin. Je ne puis mieux faire, Monsieur, que de l'engager à vous voir et à conférer avec vous sur les objets dont il s'occupe, et qui sont depuis longtemps l'objet particulier de vos études et de vos travaux. Il se présentera chez vous après demain mercredi, vers 10 heures du matin, avec d'autres Anglais, qui l'accompagnent dans son voyage. Je ne doute point que vous ne soyez bien aise d'entrer en relations avec lui. Je vous prie de lui donner les renseignements qu'il pourra vous demander et de lui faire voir les beaux appareils de nos phares. Les ingénieurs et les savants français qui ont été en Angleterre se sont loués toujours du bon accueil qu'ils y ont reçu et de l'empressement avec lequel on les a dirigés dans leurs recherches. Il est juste que nous accueillions de la même manière les étrangers qui viennent nous visiter.

J'ai, etc.

Le Conseiller d'État, Directeur général des ponts et chaussées et des mines,

BECQUEY.

N° XXV16.

AUGUSTIN FRESNEL AU C^{TE} ALBAN DE VILLENEUVE,

PRÉFET DE LA LOIRE-INFÉRIEURE.

Paris, le 27 novembre 1824.

Monsieur le Préfet,

Remerciments. Établissement d'un phare sur l'île du Pilier, à l'embouchure de la Loire.

Je m'empresse de vous exprimer toute ma reconnaissance pour l'obligeante communication dont vous m'avez honoré. Je regrette qu'une indisposition m'empêche en ce moment d'aller vous faire mes remercîments de vive voix, comme je l'aurais désiré.

Les éloges flatteurs qui me sont adressés par le *Journal de Nantes*, avant que j'aie rendu des services réels au commerce de cette ville, sont pour moi un nouvel aiguillon qui doit m'exciter encore à hâter, dans tout ce qui me concerne, l'établissement du petit phare du Pilier.

La Commission des phares s'est occupée de cette affaire dans sa dernière séance, et la terminera sans doute dans la prochaine.

Un phare semblable vient d'être établi à Dunkerque, et doit être allumé le 1er février prochain.

D'après l'essai qui en a été fait sur les lieux, on a reconnu qu'il s'apercevait très-bien, en temps ordinaire, à une distance de 6 lieues marines : c'est plus que je n'avais espéré. On ne donnera probablement à la tour du Pilier que la hauteur nécessaire pour que le fanal soit vu à 4 lieues; en sorte que l'intensité du feu sera plus que suffisante pour l'étendue qu'il doit éclairer, du moins pendant la plus grande partie de l'année; car, dans les temps de brouillards, ce luxe de lumière ne paraîtra plus que le strict nécessaire, et pourra même quel-

quelquefois ne plus suffire aux besoins des navigateurs, comme cela arrive pour les phares les mieux illuminés[a]. N° XXV[16].

Je suis, etc.

A. FRESNEL.

N° XXV[17].

AUGUSTIN FRESNEL À M. ROBERT STEVENSON.

Paris, le 3 décembre 1825.

Monsieur,

Par une lettre en date du 30 novembre, M. Becquey vient de m'informer que vous désirez faire l'acquisition de deux grandes lentilles annulaires et d'une lampe à quatre mèches.

Commande à M. Soleil de deux grandes lentilles, et d'une lampe mécanique à M. Wagner, pour M. R. Stevenson.

J'ai donné, en conséquence, à M. Soleil et à M. Wagner, les instructions nécessaires pour que vous receviez les deux lentilles et la lampe dans le plus court délai possible. J'espère que tout sera prêt dans trois semaines.

Choix à faire entre les lampes à ressort ou à poids.

J'ignore si vous voulez que le mécanisme de la lampe soit mû par un ressort ou par un poids.

Le ressort est plus commode pour des expériences dans lesquelles on est obligé de transporter la lampe et de la déplacer souvent.

Le poids est préférable pour un service régulier, parce qu'il a une action constante, tandis que celle du ressort diminue à mesure qu'il se déroule. Il n'est aucun local dans lequel on ne puisse se servir d'un poids, en faisant passer la corde sur des poulies de renvoi et des pou-

---

[a] Le nouveau phare dont il est ici question devait signaler la pointe nord-ouest de l'îlot du Pilier, situé à 2 milles 1/2 de la pointe nord-ouest de l'île de Noirmoutier. Conformément au projet général arrêté en 1825 pour l'éclairage des côtes de France, au lieu d'un appareil de troisième ordre à feu fixe, on adopta définitivement pour le Pilier un appareil de deuxième ordre à feu fixe varié par des éclats, dont l'installation n'eut lieu qu'après la mort d'Augustin Fresnel.

N° XXV[17]. lies mouflées, quand on n'a pas assez de hauteur de chute. Ainsi, je préférerais employer un poids, même dans des expériences, à moins qu'il ne fût nécessaire de déplacer souvent la lampe.

La lampe que je fais arranger pour vous, Monsieur, est celle que vous avez vue à Paris. Si j'en commandais une nouvelle à M. Wagner, vous ne l'auriez pas avant deux ou trois mois. La lampe en question est à ressort; il est facile de remplacer le barillet qui contient le ressort par un autre cylindre sur lequel s'enroule la corde. J'attends votre décision pour y faire ce changement, ou pour y faire ajouter un second ressort, si vous préférez ce genre de moteur; car nous avons reconnu qu'un seul ressort ne suffisait pas, lorsqu'on voulait avoir une grande surabondance d'huile sans être obligé de remonter trop souvent la lampe.

Je vous prie, Monsieur, de me répondre le plus tôt possible, si vous ne voulez pas éprouver de retard.

J'ai l'honneur, etc.

A. FRESNEL.

N° XXV[18].

AUGUSTIN FRESNEL À M. ROBERT STEVENSON.

Paris, le 14 janvier 1825.

Monsieur,

Service des lampes mécaniques.

La bonne huile à quinquet ordinaire, c'est-à-dire l'huile de colza bien débarrassée de son mucilage par l'épuration à l'acide sulfurique, convient parfaitement à l'éclairage de ces lampes [a]. L'huile de baleine bien épurée réussirait également, et donnerait peut-être une flamme encore un peu plus brillante. Il faut avoir soin de filtrer l'huile avant de la verser dans le réservoir de la lampe, pour la débarrasser des

---

[a] Les lampes mécaniques à mèches concentriques. — Cette instruction comprend les principaux détails relatifs à leur service.

petits filaments de coton que contient souvent l'huile épurée du commerce, et qui finiraient par boucher les trous du tuyau aspirateur : au reste, ce tuyau se dévisse afin qu'on en puisse nettoyer commodément les petits trous.

Comme les soupapes de la boîte du corps de pompe ne ferment plus très-bien quand on a été quelque temps sans faire servir la lampe, il est bon de les amorcer en versant de l'huile dans le tuyau supérieur qui porte le bec, et dont on peut ôter celui-ci à volonté.

Le volant du mouvement d'horlogerie en est la partie la plus délicate, et celle qu'un filament, une petite ordure ou un léger frottement peuvent arrêter le plus facilement. Il faut le tenir, comme le reste du mécanisme, à l'abri de la poussière. Il est essentiel de lui conserver toute sa mobilité, et, à cet effet, de mettre souvent un peu d'huile de pied de bœuf à ses pivots, à sa vis sans fin et aux tourillons de la petite roue dentée qui mène la vis sans fin, en ayant soin d'enlever auparavant la vieille huile avec un peu de peau, ou un linge neuf, qui ne puisse laisser aucun duvet sur les pivots.

On augmente et l'on diminue à volonté la quantité d'huile que le corps de pompe fait monter dans le bec, en ouvrant plus ou moins les ailes du volant. Je trouve, dans mes anciennes expériences sur la lampe à ressort que M. Wagner vous envoie, qu'il y a une surabondance d'huile suffisante, à la rigueur, quand les pompes élèvent 3 litres d'huile par heure. Dans ce cas, les bras de levier des pompes font dix tours en trois minutes. Les lampes à poids employées au phare de Cordouan élèvent environ 4 litres 1/2 d'huile par heure, c'est-à-dire à peu près six fois ce qu'elles consomment. Cette grande surabondance d'huile est avantageuse pour la conservation des mèches. Alors le poids mouflé descend de 25 centimètres, et non mouflé, de 50 centimètres par heure, ce qui vous donne une mesure approximative de la vitesse des rouages, le cylindre sur lequel s'enroule la corde de la lampe à poids ayant à peu près de 8 à 9 centimètres de diamètre. Si vous donnez une aussi grande vitesse au mécanisme de votre lampe, vous serez obligé de remonter le ressort plus souvent,

N° XXV[bis]. ce qui se fait au reste très-commodément et sans arrêter le mouvement.

J'oubliais de vous dire, à l'occasion des soins nécessaires pour entretenir la mobilité du volant, que la plaque d'acier sur laquelle tourne son pivot peut glisser dans sa rainure de manière à présenter à la pointe du pivot une surface neuve et polie, quand elle a usé un point de la plaque par son frottement prolongé.

Il est bon de ne pas donner aux mèches plus de 7 à 8 millimètres de hauteur au-dessus des bords du bec, quand on veut qu'elles résistent à une longue combustion. Pour que les flammes prennent le même développement, les diverses mèches concentriques ne doivent pas avoir précisément des hauteurs égales.

Il faut, avant d'allumer, moucher les mèches avec soin, en se réglant sur les bords du bec, avec des ciseaux courbes semblables à ceux dont on se sert pour faire le poil des oreilles des chevaux; ce sont les ciseaux les plus commodes pour les becs à mèches concentriques. Il est essentiel de bien nettoyer les intervalles dans lesquels passent les courants d'air, parce que la moindre ordure qui intercepte une partie du courant d'air fait fumer. Il est nécessaire aussi que les mèches ne forment pas des plis qui rendraient les flammes inégales et les feraient fumer. Quand on met des mèches neuves, il faut faire marcher les pompes pendant un quart d'heure, quelques heures avant d'allumer, afin que ces mèches s'imbibent d'huile et aient le temps de se bien mouler sur le bec. Quand on allume, il faut, bien entendu, que l'écoulement de l'huile soit établi, et commencer toujours par les mèches du centre, en abaissant chaque mèche, dès qu'elle est allumée, et autant qu'on peut le faire sans l'éteindre. On allume chaque mèche par plusieurs points, de manière que la flamme puisse parcourir promptement toute sa circonférence. Lorsque toutes les mèches sont allumées, on pose la cheminée de verre, à l'extrémité de laquelle on a eu soin préalablement d'adapter la rallonge de tôle; car si l'on mettait la rallonge de tôle quand la cheminée est échauffée, on ferait casser celle-ci. Quand on pose la cheminée sur le bec, il faut que l'obturateur de la

rallonge soit fermé, de peur qu'un courant d'air trop vif n'éteigne les flammes; ensuite on s'empresse d'élever un peu les mèches, pour donner plus de nourriture aux flammes. Quelques minutes après, quand la cheminée est échauffée, on les hausse encore davantage, *en commençant toujours par celles du centre.* Si l'on faisait d'abord monter la flamme extérieure, avant que le courant d'air fût bien établi, on courrait le risque de casser la cheminée. On ouvre ensuite l'obturateur, en lui donnant une inclinaison de 45 degrés environ, ce qui fait d'abord baisser les flammes; mais elles s'allongent bientôt après, dès que les mèches se sont un peu charbonnées. Ce n'est guère qu'au bout d'une demi-heure, quelquefois au bout d'une heure, qu'elles ont atteint la hauteur à laquelle elles doivent s'arrêter. Il est bon que les flammes du centre soient un peu plus hautes que les autres et que l'ensemble de ces quatre flammes présente à peu près la forme d'un artichaut. N° XXV[bis].

La position du coude de la cheminée a une grande influence sur la blancheur des flammes. On peut le hausser ou le baisser en faisant tourner la robe qui porte la cheminée. En général, quand on le hausse, les flammes prennent plus de développement et deviennent moins blanches; quand on le baisse, au contraire, elles blanchissent et se raccourcissent. Pour les bonnes cheminées, la hauteur du coude au-dessus du bec peut être de 40 millimètres; pour d'autres, il faut la réduire à 35 et même à 30 millimètres. On commence, dans tous les cas, par tenir le coude à 40 millimètres environ au-dessus du bec, ce qui facilite le développement des flammes; et si l'on remarque qu'elles sont un peu rougeâtres, ou que la grande flamme extérieure laisse échapper de la fumée en quelques endroits, on abaisse le coude, en faisant tourner la robe de fer-blanc sur l'hélice qui la soutient.

Une fois les hauteurs relatives des flammes bien réglées, il ne faut plus employer les crémaillères, mais seulement l'obturateur, pour exciter ou diminuer la combustion. Quand on ferme l'obturateur, les flammes montent; quand on l'ouvre, elles s'abaissent.

Il arrive quelquefois que des cheminées, assez larges d'ailleurs vers le coude et dans leur partie supérieure, sont trop étroites par le bas,

N° XXV[18]. et interceptent une partie du courant d'air qui entoure la flamme extérieure et l'écarte de la cheminée; alors, dans les points où ce courant d'air est trop affaibli, la flamme touche la cheminée et la fait casser.

Quand on craint que les cheminées n'aient pas été bien recuites, il faut, après avoir allumé, faire monter les flammes plus lentement, et aussi ne pas les éteindre brusquement. Il faut toujours éteindre les flammes extérieures avant celles du centre.

Position à donner au centre du bec de lampe, selon la distance à laquelle on veut projeter la lumière.

Quand on veut porter la lumière de la lentille à une grande distance et dans une direction horizontale, le centre du bec doit être éloigné de la lentille de 93 centimètres, et ses bords supérieurs doivent être à 28 ou 29 millimètres au-dessous du niveau du centre de la lentille. Pour une distance de 30 à 40 mètres, on a une lumière plus vive en plaçant le centre du bec à 94 centimètres de la lentille. C'est toujours le côté plan de la lentille qui doit être tourné vers la lampe, et quand on veut l'employer comme verre ardent, c'est le côté échelonné qu'on tourne vers le soleil.

Agréez, Monsieur, etc.

A. FRESNEL.

N° XXV[19].

AUGUSTIN FRESNEL À M. MARITZ FILS.

Paris, le 18 [et le 19] avril 1825.

Monsieur,

M. Wagner m'a plusieurs fois assuré avoir répondu à toutes vos questions; mais puisque ses réponses ne vous parviennent pas, je vais essayer si je serai plus heureux que lui.

Prix des appareils. Fabrication des armatures.

Je vous avais donné la note des prix que nous avons payés pour l'appareil de Cordouan; j'espère maintenant faire faire à meilleur marché plusieurs parties de l'appareil, notamment l'armature, que j'ai tou-

jours trouvée trop chère. Ce n'est plus à M. Wagner que je m'adresserai dorénavant pour les armatures, qui sont plutôt un ouvrage de serrurerie que de mécanique. Je suis d'ailleurs très-mécontent de la négligence que M. Wagner a apportée dans la fabrication du chariot de galets sur lequel roule l'appareil de Cordouan. Ces galets de fonte étaient pleins de soufflures, qui, au bout de quelque temps, ont déformé leur circonférence et arrêté la marche du phare. Il a fallu changer le chariot. Quoique avec un peu de soin on puisse éviter les soufflures dans la fonte des galets, je me propose désormais de les faire exécuter en fer forgé un peu dur, recouvert d'une bande d'acier à sa circonférence. N° XXV[19].

Résultats satisfaisants des machines de rotation réglées par un volant-pendule.

En substituant au pendule et à la roue d'échappement, dans la machine de rotation, un volant qui porte deux ailes mobiles dont l'inclinaison est réglée par la force centrifuge, je suis parvenu à des résultats très-satisfaisants, et qui ont déterminé notre Commission des phares à adopter ce régulateur pour une machine de rotation.

Fresnel, souffrant et surchargé de travaux, ne peut diriger lui-même la construction du phare lenticulaire demandé par M. Maritz.

Je me chargerais volontiers de diriger les détails de la construction de l'appareil que vous demandez, si j'avais plus de loisir et de santé, et je tâcherais de faire en sorte qu'il vous coûtât le moins possible. Dans l'impossibilité où je suis de vous rendre moi-même ce service, j'ai prié M. Boulard, conducteur des ponts et chaussées très-intelligent et très-exact, de s'occuper de votre affaire. Il est sûr de faire faire l'armature pour 2,400 francs au plus. — Je transcris ici la note qu'il m'a remise, et qui répond aux différentes questions que vous avez adressées à M. Wagner. Il a supposé que la machine de rotation et les lampes seraient construites par ce mécanicien, et il a porté ses prix. Je dois dire que j'ai été content jusqu'à présent des lampes de M. Wagner.

. . . .

Feu fixe du port de Dunkerque.

Vos marins ont sans doute vu le petit phare à feu fixe allumé à Dunkerque depuis le 1er février. Il est éclairé seulement par un bec à deux mèches concentriques. En doublant les dimensions de l'appareil, qui n'a que 50 centimètres de diamètre intérieur, on pourrait presque

Nº XXV 19. doubler son effet sans changer la lampe, c'est-à-dire sans augmenter la dépense d'huile...

Agréez, etc.

A. FRESNEL.

Du 19 avril 1825.

Composition des grands phares dioptriques à feu fixe.

Je crois vous avoir parlé, Monsieur, de la dernière combinaison catadioptrique à laquelle je me suis arrêté pour nos grands phares à feu fixe. Les lentilles verticales qui ramassent la principale partie des rayons seront toujours dans le même système que celles du petit feu de Dunkerque, mais, pour ramener à l'horizon les rayons qui passeront au-dessus et au-dessous, je n'aurai plus recours à la fois à la réfraction et à la réflexion; j'emploierai seulement la réflexion. Ces rayons seront immédiatement réfléchis par des glaces qui auront une légère courbure cylindrique et seront disposées par étages. Pour nos phares du premier ordre, il y aura sept rangées de glaces cylindriques dans la partie supérieure, et quatre au-dessous des lentilles verticales. La hauteur totale de la colonne de feu sera de $2^m,70$. Chaque rangée sera composée de trente-deux glaces, formant un polygone régulier autour de l'axe vertical du système.

Exécution des glaces courbes formant la partie accessoire des appareils à feu fixe.

M. Soleil s'occupe en ce moment du rodage de ces glaces, et je suis persuadé que, en suivant les conseils que je lui ai donnés, il obtiendra une exactitude suffisante dans leur courbure. C'est en glaces de cette espèce qu'il se propose de faire la travée inférieure que vous lui avez demandée. Elles donneront beaucoup plus de lumière que les bandes de glaces planes du petit feu fixe de Cordouan.

Idée, non encore expérimentée, de faire flotter sur un bain de mercure les appareils tournants.

Je me propose de faire flotter nos appareils à feux tournants du premier ordre dans un bain de mercure, au lieu de les faire rouler sur des galets. Ce projet ne présentera pas de difficultés; néanmoins, comme je ne l'ai pas encore mis à exécution, je ne vous engagerai pas à l'adopter pour votre premier phare.........................

N° XXV[20].

AUGUSTIN FRESNEL À M. ROBERT STEVENSON.

Paris, le 3 juin 1825.

Monsieur,

Ce n'est pas en comparant seulement les appareils lenticulaires aux phares mal entretenus des côtes de France, que notre Commission des phares s'est décidée à donner la préférence au nouveau système d'éclairage. Son opinion à ce sujet s'est établie sur des bases plus précises et plus générales. Une longue série d'expériences et de *mesures* ont confirmé ce que la théorie annonçait d'avance, c'est-à-dire que, avec les appareils dioptriques, on tirerait un plus grand parti d'une lumière donnée qu'avec les petits miroirs paraboliques employés en Angleterre, ou même les grands réflecteurs de 30 pouces d'ouverture, qui ont servi depuis longtemps à l'éclairage des principaux phares de France.

Expériences photométriques qui ont déterminé la préférence donnée par la Commission des phares de France au système lenticulaire.

Notre Administration avait fait venir de Londres un petit réflecteur de 20 pouces anglais d'ouverture. Nous avons mesuré la lumière qu'il donnait, non-seulement suivant son axe, mais encore dans toutes les autres directions obliques à l'axe, en négligeant seulement les rayons trop faibles pour se faire sentir à des distances un peu considérables. Pour prendre ces mesures, on faisait tourner chaque fois d'une petite quantité angulaire, d'un degré ou d'un demi-degré, la table mobile sur laquelle reposait le réflecteur, et l'on comparait la lumière envoyée avec celle d'une lampe de Carcel, par la méthode des *ombres égales*, que vous m'avez vu employer. Ensuite, chaque petit angle décrit était multiplié par l'intensité de lumière correspondante, et, en faisant la somme de ces produits, on avait la valeur numérique de toute la lumière que donne un pareil réflecteur.

Expériences comparatives sur un réflecteur anglais de 508 millimètres d'ouverture.

Vous voyez, Monsieur, que, dans ce calcul, on ne tient pas seulement compte de la vivacité de l'éclat, mais encore de sa largeur angulaire, et que le nombre obtenu est véritablement proportionnel à la somme de

N° XXV[20]. tous les rayons lumineux que le réflecteur, en tournant, peut envoyer à un spectateur éloigné. Il est presque inutile de dire qu'on avait soin, dans chaque expérience, de faire produire à la lampe du réflecteur le plus bel effet possible, et de rendre à la surface du miroir parabolique tout son éclat spéculaire, en la frottant avec du rouge à polir, en sorte qu'il donnait certainement autant de lumière que les réflecteurs semblables employés dans les phares *les mieux entretenus* de l'Angleterre.

Nous avons évalué par la même méthode la somme des rayons lumineux que donne une grande lentille dans toute l'étendue angulaire de son éclat, quand elle est illuminée par une lampe à quatre mèches, et nous avons trouvé un nombre quatre fois aussi grand que celui qui résultait des observations faites sur le réflecteur anglais.

L'éclat d'une grande lentille de Cordouan équivaut à celui de 32 réflecteurs anglais de 508 millimètres d'ouverture.

Ainsi les huit grandes lentilles d'un appareil dioptrique semblable à celui de Cordouan, en tournant autour de la lampe centrale, envoient aux navigateurs autant de lumière qu'un phare composé de trente-deux réflecteurs anglais, et ce rapport sera sans doute encore supérieur avec les lentilles de nouvelle fabrication. Mais en se bornant au nombre de trente-deux, on voit qu'un pareil phare consommerait 1280 grammes (d'huile) par heure, puisque la lampe de chaque réflecteur brûle 40 grammes; tandis que, dans le phare de Cordouan, il n'y a que 750 grammes d'huile brûlés par heure. Je n'ai pas tenu compte, dans le calcul, des rayons envoyés par les petites lentilles additionnelles et leurs miroirs. Si on les ajoutait à ceux des grandes lentilles, on trouverait qu'un appareil semblable à celui de Cordouan doit produire deux fois plus d'effet qu'un phare composé de dix-neuf réflecteurs anglais, qui consommeraient environ la même quantité d'huile. Je suis persuadé que la supériorité du système lenticulaire sera encore plus saillante dans les nouveaux appareils que nous allons construire, en raison de l'exécution plus parfaite des lentilles et des modifications avantageuses que je me propose de faire dans la partie additionnelle qui sert à augmenter la durée des éclats.

Rapport des consommations d'huile.

C'est seulement en suivant la méthode expérimentale que je viens de vous exposer, Monsieur, c'est-à-dire en *mesurant* l'intensité de la

No XXV[20].

lumière dans toutes les directions, qu'on peut comparer avec exactitude le mérite relatif des différents systèmes d'éclairage. Lorsqu'on se borne à observer de l'œil leur effet lointain, on porte souvent des jugements très-faux, à cause de la différence des distances ou des variations si fréquentes de la transparence de l'air.

Je ne puis pas profiter, Monsieur, de l'offre obligeante que vous me faites de montrer vos phares à l'un des conducteurs attachés à notre Commission. Ils sont tous deux très-occupés à surveiller le rodage des verres dans l'atelier de M. Soleil, et doivent diriger l'exécution des autres parties de nos appareils, telles que les armatures et les lanternes. La présence de chacun d'eux à Paris est d'autant plus nécessaire, que je dois bientôt faire une tournée sur nos côtes. Au reste, le conducteur que j'enverrais visiter les phares d'Écosse m'apprendrait seulement, à son retour, une chose que je sais depuis longtemps, c'est qu'ils sont infiniment mieux entretenus que les phares de France.

Petit appareil à feu fixe de Dunkerque.

En portant son diamètre de 0m,50 à 1 mètre, on obtiendrait un effet presque double avec la même dépense d'huile.

Dans une expérience récente, où j'ai eu l'occasion d'observer les effets lointains d'un petit appareil semblable à celui de Dunkerque, j'ai trouvé sa lumière plus faible que je ne m'y attendais[a]. J'en étais distant de 3 1/2 lieues marines. J'ai peine à croire qu'elle puisse être aperçue à 6 lieues marines, comme les marins de Dunkerque le prétendent, excepté dans des circonstances favorables. J'ai fait observer aux membres de la Commission qui assistaient à cette expérience combien il serait avantageux de doubler les dimensions de l'appareil, lorsque les besoins de la navigation l'exigeraient, puisque, avec la même lampe, et sans augmenter la dépense annuelle d'éclairage et d'entretien, on aurait une lumière presque double.

Agréez, etc.

A. FRESNEL.

---

[a] On conçoit que cet appareil de troisième ordre (*petit modèle*) eût notablement gagné en effet utile si les zones échelonnées de son tambour dioptrique, au lieu d'être *polygonales*, eussent été exécutées sous forme *annulaire*, et si la partie accessoire, composée de petites lentilles avec miroirs plans, eût été formée d'anneaux à *réflexion totale*, amélioration que Fresnel introduisit, vers la fin de 1826, dans ses appareils de *feux de port*.

N° XXV[21].

AUGUSTIN FRESNEL À M. GARELLA,

INGÉNIEUR EN CHEF DES BOUCHES-DU-RHÔNE.

Paris, le 23 juin 1825.

Monsieur l'ingénieur en chef,

Phare de l'île Planier en construction près de Marseille. Légère inclinaison à donner aux glaces de la lanterne.

J'ai eu l'honneur de vous entretenir à Paris de la nécessité de donner aux glaces de la lanterne du phare de l'île Planier une légère inclinaison, pour empêcher les *faux éclats* qui seraient produits par les rayons réfléchis sur le vitrage. Il suffit que cette inclinaison soit d'un quarantième de la largeur verticale de la glace, mais on peut sans inconvénient en adopter une un peu plus forte.

Utilité d'une chambre au-dessous de la lanterne.

Dans la lettre que j'ai eu l'honneur de vous écrire le 8 février dernier, je vous ai parlé des avantages que présentait, pour la commodité du service, une petite chambre située au-dessous de la lanterne. J'ignore si l'exhaussement de 10 mètres ordonné par M. le directeur général vous a donné la facilité d'ajouter cette pièce, en faisant porter par une voûte la plate-forme de la lanterne. Je désirerais savoir aussi, Monsieur, où en sont la construction de la tour et celle de la lanterne, et vers quelle époque vous pensez qu'on pourra installer l'appareil lenticulaire, afin d'en instruire la Commission des phares[a].

J'ai l'honneur, etc.

A. FRESNEL.

---

[a] L'appareil d'éclairage de la tour de l'île Planier ne fut installé qu'après la mort d'Augustin Fresnel.

N° XXV[22].

AUGUSTIN FRESNEL À M. LE MENGNONNET,

MAIRE DE GRANVILLE.

Paris, le 26 juillet 1825.

Monsieur le maire,

Questions relatives à la possibilité d'établir un phare sur l'écueil de Roche-Douvre.

Vous nous avez fait espérer, lors de votre voyage à Paris, que vous pourriez nous fournir bientôt des renseignements positifs et détaillés sur la possibilité d'établir un phare à Roche-Douvre. Le beau temps de la quinzaine dernière a dû être très-favorable à cette exploration. Nous attendons avec impatience les renseignements que vous nous avez promis.

Je dois partir bientôt pour ma tournée; je désirerais vivement pouvoir faire connaître à la Commission des phares, avant mon départ, le résultat de vos recherches, qui doit décider une question si importante pour le commerce de Granville et celui de Saint-Malo.

M. le directeur général des ponts et chaussées et la Commission des phares sentent tous les avantages que l'établissement d'un phare sur la Roche-Douvre offrirait à la navigation, et m'ont paru très-disposés à l'approuver, s'il ne présente pas de trop grandes difficultés d'exécution [a].

J'ai l'honneur d'être, avec une haute considération,

Monsieur le maire.

Votre, etc.

A. FRESNEL.

---

[a] La grave et difficile question de l'établissement d'un phare sur le banc sous-marin de Roche-Douvre, à 6 lieues marines au nord de l'île de Bréhat, a fréquemment occupé l'Administration depuis quarante ans, et n'est pas encore complétement résolue (juillet 1868).

N° XXV[23].

AUGUSTIN FRESNEL À M. LE MENGNONNET.

Paris, le 29 juillet 1825.

Monsieur,

Travail hydrographique à entreprendre pour apprécier les difficultés de l'établissement d'un phare sur Roche-Douvre.

J'ai reçu avant-hier votre lettre du 11 juillet, avec le rapport qui l'accompagnait. Je l'ai communiquée hier à M. de Rossel. Il a été affligé comme moi des difficultés qui s'opposent à l'établissement d'un phare sur la Roche-Douvre. Elles ne nous ont pas paru cependant devoir être plus grandes que celles qui ont été surmontées par les ingénieurs anglais dans la construction des phares d'Eddystone et de Bell-Rock, autant que nous en avons pu juger du moins d'après les renseignements que vous nous avez fournis. M. de Rossel se propose de demander au Ministre de la marine que ces rochers soient explorés de nouveau par les ingénieurs-hydrographes, afin de ne pas abandonner le projet d'établir un phare sur cet écueil avant de s'être assuré qu'il exigerait des sacrifices supérieurs à son importance.

Établissement à Granville d'un phare de troisième ordre à feu fixe.

Il y a deux mois que la Commission des phares a fait un rapport favorable sur la demande d'un fanal pour Granville. Ce rapport a été envoyé, le 27 ou 28 mai dernier, à M. le directeur général. Elle a proposé un appareil d'éclairage à feu fixe, semblable à celui de Dunkerque, mais deux fois plus grand, et dont la lumière pourra être aperçue, en temps ordinaire, à 6 lieues marines de distance. Je suppose que l'ingénieur en chef de votre département s'occupe en ce moment du projet de la tour, qui ne doit pas être bien long à faire. Il n'a pas encore été envoyé à la Commission.

J'ai l'honneur d'être, avec la plus haute considération,

Monsieur,

Votre, etc.

A. FRESNEL.

N° XXV[24].

AUGUSTIN FRESNEL À M. BECQUEY,

DIRECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES.

Paris, le 10 septembre 1825.

Monsieur le Directeur général,

Itinéraire proposé pour une première inspection des phares.

En m'annonçant, par votre lettre du 1er juin 1824, que Son Exc. le Ministre de l'intérieur m'avait nommé, sur votre proposition, secrétaire de la Commission des phares, vous m'avez prévenu que votre intention était de me charger aussi d'inspecter les phares établis dans le royaume. Vous m'aviez même engagé verbalement, dès l'année dernière, à commencer cette inspection; mais les examens de l'École polytechnique m'en empêchèrent. Maintenant que Son Excellence veut bien me dispenser de remplir dorénavant une tâche aussi pénible, à cause de la faiblesse de ma santé, rien ne m'empêche plus de me conformer à vos intentions, et je crois prévenir vos ordres en vous priant de m'autoriser à parcourir une partie des côtes de France, pour en visiter les phares. Le moment présent me paraît le plus favorable pour ma tournée. Les affaires de la Commission sont toutes expédiées, et plusieurs membres sont absents. Je compte être de retour à la fin du mois d'octobre, et il me paraît probable qu'aucune demande pressante ne sera adressée à la Commission avant cette époque.

J'ai l'honneur de vous soumettre, Monsieur le Directeur général, l'itinéraire suivant de ma tournée :

Je me propose d'aller d'abord au Havre, visiter les deux phares de la Hève. Du Havre je passerai dans le département du Calvados, où je pourrai voir, avec M. l'ingénieur en chef Pattu, quel est, à l'embouchure de l'Orne, l'emplacement le plus convenable pour le petit phare demandé par le commerce de Caen. J'irai ensuite dans le département de la Manche, visiter le phare de Barfleur et le cap de la Hague, où

54.

N° XXV[2°]. doit être établi un phare du premier ordre. De Cherbourg j'irai au cap Fréhel, en passant par Granville et Saint-Malo. Me trouvant dans le département des Côtes-du-Nord, voisin de celui du Finistère, vous jugerez sans doute convenable, Monsieur le Directeur général, que j'aille à Brest pour observer les feux de Saint-Matthieu et d'Ouessant. Ce ne sera pas ici une inspection, puisque ces feux sont entretenus par le Ministère de la marine[(a)], mais de simples observations utiles à mon instruction, et qui serviront à compléter les renseignements que je dois recueillir dans ma tournée. De Brest j'irai, par Quimper, à la pointe de Penmarc'h, voir ce qui subsiste des travaux commencés depuis longtemps pour la construction d'un phare. Je traverserai ensuite le département du Morbihan, et je me rendrai à Nantes, d'où je descendrai la Loire pour voir le feu du Four. Je retournerai à Nantes prendre la route qui conduit aux Sables-d'Olonne, dans le département de la Vendée. De là j'irai à la Rochelle et dans les îles de Ré et d'Oléron, inspecter les phares des Baleines et de Chassiron. Je me rendrai ensuite à Royan, pour observer le feu de Cordouan; après quoi j'irai à Bordeaux conférer avec M. l'ingénieur en chef de la Gironde, et M. Saint-Aubin, sur les conditions à remplir dans le projet du fanal du troisième ordre qui doit être établi à la pointe de Grave, et recevoir de M. l'ingénieur ordinaire de nouveaux renseignements sur le service actuel du phare de Cordouan[(b)].

Je pourrais aller de Bordeaux à Bayonne, inspecter le petit feu de Biarritz, mais ce serait faire 80 lieues (en comptant l'aller et le retour) pour un objet de peu d'importance. Je me propose donc de revenir directement de Bordeaux à Paris. J'espère trouver, après mon retour, le temps d'aller visiter avant l'hiver les phares du nord de la Manche, c'est-à-dire ceux d'Ailly, de Calais et de Dunkerque.

(a) Ils ont été réunis depuis au service ordinaire des phares, sous la direction de l'Administration générale des ponts et chaussées.

(b) Depuis le mois de juillet 1823, un grand appareil lenticulaire de Fresnel avait remplacé, sur la tour de Cordouan, l'appareil à réflecteurs paraboliques de Borda et Lenoir.

D'après ce que M. Cousinery m'a écrit sur l'état actuel des travaux de la tour de l'île Planier [Bouches-du-Rhône], il est probable que l'appareil d'éclairage ne pourra y être installé que vers le printemps. Je compte pouvoir assister à cette installation[a], et profiter de ce voyage pour visiter, l'année prochaine, les phares de la Méditerranée. Arrivé à Perpignan, je prendrai la route de Bayonne, pour visiter le petit feu de Biarritz et inspecter une seconde fois les phares des côtes de l'Océan. N° XXV[24].

Je suis, etc.

A. FRESNEL.

N° XXV[25].

LE DIRECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES

À M. AUGUSTIN FRESNEL,

INGÉNIEUR EN CHEF.

Paris, le 17 septembre 1825.

Inspection des phares. Approbation de l'itinéraire proposé par Augustin Fresnel

Monsieur, j'ai reçu la lettre que vous m'avez fait l'honneur de m'écrire le 10 de ce mois, relativement au voyage que vous allez faire, d'après mes instructions, pour visiter les principaux phares du royaume.

Ainsi que vous le proposez, vous vous rendrez d'abord au Havre, pour inspecter les deux phares de la Hève; du Havre vous passerez dans le département du Calvados, où vous examinerez, de concert avec M. l'ingénieur en chef de ce département, quel est l'emplacement le plus convenable pour le petit phare demandé par le commerce de Caen. Vous irez ensuite dans le département de la Manche, visiter le phare de Barfleur et le cap la Hague, où doit être établi un phare du premier ordre. De Cherbourg vous vous rendrez au cap Fréhel, en passant par Granville et Saint-Malo. Pour compléter les renseignements que vous aurez à recueillir, vous pourrez poursuivre jusqu'à Brest, à l'effet d'observer les feux de Saint-Matthieu et d'Ouessant. De Brest vous irez, par Quimper,

---

[a] Elle n'eut lieu qu'après la mort d'Augustin Fresnel.

N° XXV[25]. à la pointe de Penmarc'h, voir ce qui subsiste des travaux commencés depuis longtemps pour la construction d'un phare. Vous traverserez ensuite le département du Morbihan, et vous vous rendrez à Nantes, d'où vous descendrez la Loire pour examiner le feu du Four. De là vous irez à la Rochelle et à l'île de Ré, inspecter les phares des Baleines et de Chassiron; ensuite à Royan, pour observer le feu de Cordouan; et vous terminerez votre inspection à Bordeaux, où vous conférerez avec M. l'ingénieur en chef de la Gironde, et M. Saint-Aubin, sur les conditions à remplir dans le projet du fanal du troisième ordre qui doit être établi à la pointe de Grave.

Je désire que vous me rendiez compte, à votre retour, dans un rapport circonstancié, du résultat de vos observations [a].

J'ai écrit à MM. les préfets et les ingénieurs en chef des départements que vous aurez à parcourir, pour les informer de votre mission. Vous conférerez avec eux sur cette partie importante du service public, dans laquelle vous porterez une expérience qui amènera d'heureux résultats.

J'ai l'honneur d'être, Monsieur, avec une considération très-distinguée, votre très-humble et très-obéissant serviteur.

Le Conseiller d'État, Directeur général des ponts et chaussées et des mines,

BECQUEY.

---

[a] A. Fresnel, dans ses inspections maritimes de 1825 et 1826, n'eut à examiner, à l'exception des deux phares lenticulaires de *Cordouan* et de *Dunkerque*, que d'anciens fanaux catoptriques, remplacés depuis par des appareils dioptriques, en sorte que les détails qui les concernent sont aujourd'hui sans intérêt; et comme, d'un autre côté, les principales observations relatives au service des appareils lenticulaires se trouvent présentées avec plus de développement dans les extraits de la correspondance de notre auteur avec les ingénieurs français et étrangers, nous n'avons pas cru qu'il y eût utilité à comprendre dans cette publication ses Rapports de tournées.

N° XXV 26.

AUGUSTIN FRESNEL À M. VAISSIÈRE,

INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES, À CALAIS.

Paris, le 26 novembre 1825.

Monsieur et cher camarade,

Je recule toujours devant l'idée de faire construire un nouveau réflecteur par M. Lenoir, lorsque nous sommes si voisins de l'époque où ces réflecteurs deviendront tout à fait inutiles. D'un autre côté, je dois convenir que le transport et l'ajustement au phare de Calais des six réflecteurs de *Bordeaux*[a] entraîneraient dans une dépense presque aussi considérable; mais j'y voyais l'avantage de rendre tout à coup à votre phare son éclat primitif, tandis que, avec un seul réflecteur de rechange, il vous faudrait un long temps pour faire réargenter successivement les six miroirs actuellement en place; car je ne crois pas que cette opération puisse se faire à Calais, et je suppose que vous seriez obligé de les envoyer à Paris les uns après les autres.

Phare catoptrique tournant de Calais. Mesures à prendre pour son amélioration, en attendant l'installation d'un appareil lenticulaire.

Entre ces deux partis extrêmes, j'en vois un troisième, qui serait beaucoup plus économique. Nous avons à Paris deux grands réflecteurs à double effet de M. Bordier-Marcet; il vous serait facile, ce me semble, de les accrocher d'une manière ou d'une autre à votre armature, à la place des deux réflecteurs de Lenoir qui ont le plus besoin d'être réargentés.

Ces réflecteurs de Bordier-Marcet, donnant des feux divergents, produiront des éclats un peu plus longs que ceux des autres faces de l'appareil; à moins que vous ne fassiez légèrement diverger les miroirs accouplés de ces deux faces, ce qui affaiblira l'intensité de leurs éclats en en prolongeant la durée. Malgré ce petit inconvénient, je ne pense

[a] De l'ancien appareil du phare de Cordouan.

N° XXV[26]. pas que ce changement de réflecteurs puisse faire méconnaître le phare; car ce n'est pas par la durée des éclats, qui varie avec la distance et l'état de l'atmosphère, mais par l'intervalle de temps entre la fin d'un éclat et celle de l'éclat suivant, que les marins peuvent distinguer un feu tournant d'un autre, parce que la durée de cette période reste constante en tout temps et à toute distance pour un même phare.

Au reste, je vous prie de me dire ce que vous pensez de ce moyen de rechange. Si vous n'y voyez pas d'inconvénient, je pourrai vous envoyer tout de suite les deux réflecteurs en question.

Je regrette toujours que M. Lenoir ait eu la malheureuse idée de placer de petits becs de 6 lignes dans ses énormes réflecteurs. Il en résulte nécessairement que les cônes lumineux qu'ils envoient sont très-étroits, à cause du petit volume de l'objet éclairant, comparé aux dimensions du paraboloïde. Il serait bien préférable d'employer de forts becs de quinquet, tels que ceux des lampes de Carcel.

J'ai l'honneur d'être, etc.

A. FRESNEL.

N° XXV[27].

AUGUSTIN FRESNEL À M. DESFORGES,

ENTREPRENEUR DE L'ÉCLAIRAGE DES PHARES [a].

Paris, le 25 février 1826.

Monsieur,

Conduite des lampes mécaniques à mèches multiples.

J'ai reçu les onze cheminées que vous m'avez envoyées pour remplacer celles que j'avais fournies, dans une occasion pressante, au phare de Dunkerque.

Je vous remercie des renseignements que vous me donnez sur l'éclai-

---

[a] Les enseignements pratiques contenus dans cette lettre et les deux suivantes, sur la conduite des lampes à mèches multiples, ne sauraient être trop recommandés à l'attention des ingénieurs chargés de la surveillance du service des phares.

N° XXV[27].

Hauteur à donner à la flamme focale de l'appareil de Cordouan.

rage du phare de Cordouan. Je n'ai jamais pensé qu'il fût nécessaire que les flammes de la lampe [focale] eussent constamment 14 centimètres de hauteur. J'écris à M. Saint-Aubin pour l'inviter à n'exiger que 10 centimètres. L'essentiel est que les flammes soient aussi égales et aussi peu découpées qu'il est possible, et qu'elles soient pleines et ne présentent aucune déchirure sur une hauteur de 7 centimètres, ce qui exige que les pointes s'élèvent jusqu'à 10 centimètres, sans tenir compte, bien entendu, de quelques pointes isolées qui peuvent monter accidentellement plus haut.

Lorsqu'on a tenu les flammes trop hautes pendant la première partie de la nuit, les mèches se charbonnent, et il devient très-difficile de soutenir le feu. Il peut même arriver que l'obturateur ne suffise plus pour faire monter les flammes, et qu'il soit nécessaire de moucher les mèches ou de changer de bec, opération qui occasionne une suspension momentanée de l'éclairage du phare.

Quant à l'accident de ce bec brûlé dont vous me parlez, il ne peut avoir eu lieu que par le manque d'huile résultant d'un mouvement trop lent des pompes de la lampe, ou d'une hauteur extraordinaire que les flammes auraient acquise par une obstruction du courant d'air. Lorsque les flammes fument, il peut arriver qu'il s'accumule dans le haut de la rallonge, et autour de l'obturateur, une quantité de noir de fumée assez considérable pour gêner beaucoup le courant d'air; alors les flammes, s'élevant à une grande hauteur et jusque par-dessus la rallonge, consument la totalité de l'huile contenue dans le bec, et en fondent les soudures. Mais des flammes de 14 centimètres ne peuvent pas produire cet effet, pour peu que la lampe monte seulement 3 ou 4 livres d'huile par heure; or, dans son état ordinaire, elle doit en monter 5 ou 6. D'ailleurs les gardiens sont avertis par le carillon dès que le bec vient à manquer d'huile, ou même qu'il n'a plus la surabondance nécessaire; ainsi c'est toujours leur faute si un bec se brûle.

Quant au ralentissement du mouvement de la lampe, on doit le prévenir, en prenant tous les soins indiqués aux gardiens pour entretenir la mobilité du pivot du volant, qui est la cause la plus ordinaire

N° XXV[27]. et la plus délicate de ces accidents. Lorsque ce ralentissement arrive tout d'un coup pendant que la lampe est en service, on peut y remédier en couchant un peu les ailes du volant de manière qu'elles éprouvent moins de résistance de la part de l'air, ou bien en augmentant le poids.

J'ai l'honneur d'être, etc.

L'ingénieur en chef, secrétaire de la Commission des phares,

A. FRESNEL.

N° XXV[28].

AUGUSTIN FRESNEL À M. SAINT-AUBIN,

INGÉNIEUR, À BORDEAUX.

Paris, le 26 février 1826.

Mon cher camarade,

. . . .

Accident survenu à la lampe de service de Cordouan, dont le bec a été brûlé.

Hauteur exigible pour la flamme focale.

M. Desforges se plaint de ce que M. Charles exige des gardiens que les flammes aient 14 centimètres de hauteur, et prétend que c'est à cela qu'on doit attribuer la prompte destruction des becs et l'accident arrivé pendant le courant de cet hiver, accident qui a obligé de changer pendant la nuit le bec de la lampe et de suspendre quelques instants l'éclairage du phare. Je vous prie d'inviter M. Charles à me rendre compte de tous les détails de cet accident, en racontant *bien naïvement* les choses telles qu'elles se sont passées. Je trouve qu'il n'y a rien de plus instructif que les accidents; mais, pour en tirer des conséquences justes, il faut avoir des renseignements exacts sur toutes leurs circonstances. Je désire que M. Charles m'adresse directement sa lettre, sans vous donner la peine d'en faire l'extrait, parce que, en ma qualité de *ferblantier-lampiste*, je le comprendrai sans doute plus aisément que vous.

Je vous engage à n'exiger que 10 centimètres pour la hauteur des flammes au-dessus des mèches; l'essentiel est que les flammes soient pleines, égales et sans déchirure sur une hauteur de 7 centimètres, ce qui ne peut guère avoir lieu sans élever les pointes jusqu'à 10 centi-

mètres. Bien entendu, que je ne comprends point, parmi les pointes dont j'indique ici la hauteur moyenne, celles qui s'élèvent accidentellement au-dessus des autres et les dépassent quelquefois de beaucoup. N° XXV[28].

Quand on tient les flammes trop hautes pendant la première partie de la nuit, les mèches se fatiguent, se charbonnent, et le feu baisse au bout de quelques heures, sans qu'il soit, souvent, possible de lui rendre sa hauteur primitive à l'aide de l'obturateur; alors il faut moucher les mèches ou changer le bec, ce qui occasionne une interruption dans l'éclairage du phare.

Je vous engage donc, mon cher camarade, à remplacer, sur l'instruction [pour les gardiens] de la tour de Cordouan, le nombre *quatorze* centimètres par le nombre *dix*, en sorte que vos employés, en faisant exécuter le règlement à la lettre, comme ils doivent le faire, n'exigent pas des choses plus nuisibles qu'utiles.

Agréez, mon cher camarade, l'expression de mon sincère attachement.

A. FRESNEL.

N° XXV[29].

AUGUSTIN FRESNEL À Mgr DE QUÉLEN,

ARCHEVÊQUE DE PARIS [a].

Paris, le 15 juin 1826.

Monseigneur,

Demande d'autorisation pour l'installation d'une lanterne sur le clocher de l'église de Montmartre.

J'ai l'honneur de vous soumettre une demande de la Commission des phares, approuvée par M. le directeur général des ponts et chaussées. La Commission propose d'établir sur le clocher de l'église de Montmartre la lanterne nécessaire à ses expériences, qui était placée sur l'arc de triomphe de la barrière de l'Étoile, avant que la reprise des travaux de ce monument eût obligé de l'enlever.

---

[a] Nous ne reproduisons cette lettre et les sept suivantes qu'en raison de l'intérêt historique qui s'attache aux derniers actes d'Augustin Fresnel comme directeur du service des phares.

N° XXV[29]. Cette lanterne, posée sur le haut du clocher de Montmartre, en remplacerait la toiture et en formerait le couronnement. Elle ne nuirait point à l'église sous le rapport du bon effet et du coup d'œil; elle serait plutôt un ornement pour le clocher.

Les expériences de la Commission des phares et les essais qu'elle doit faire des appareils d'éclairage, avant de les envoyer à leur destination, n'ont lieu que de loin en loin, et n'ont pas besoin de se prolonger beaucoup dans la nuit. Elles sont ordinairement terminées avant minuit. Elles se font le soir, c'est-à-dire à une heure où les fidèles ne sont pas appelés à l'église par le service divin; elles sont d'ailleurs assez rares et, en général, assez peu pressées pour qu'il soit toujours possible d'éviter de les faire les jours où elles présenteraient quelque inconvénient. Le seul endroit occupé par les appareils d'éclairage et les personnes chargées de les surveiller serait la lanterne et le haut du clocher.

La Commission des phares ne s'est décidée à indiquer ce clocher comme un lieu convenable pour le rétablissement de sa lanterne d'expériences, qu'après avoir cherché inutilement une autre position aussi favorable, et après avoir demandé à M. le curé de Montmartre si cela n'occasionnerait aucun dérangement. C'est d'après sa réponse favorable qu'elle a cru pouvoir proposer à M. le directeur général des ponts et chaussées d'établir la lanterne sur le clocher de Montmartre. Elle m'a chargé, Monseigneur, de vous soumettre sa demande et de solliciter votre agrément pour l'exécution de son projet.

Je suis, avec un profond respect, etc.

A. FRESNEL.

N° XXV[30].

AUGUSTIN FRESNEL À M. BECQUEY,

DIRECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES.

Paris, le 24 août 1826.

Monsieur le Directeur général,

Je crois nécessaire d'achever, cette année, la tournée que j'ai commencée l'an dernier sur les côtes de France, pour en visiter les phares. Il me reste à parcourir les côtes de la Manche, depuis le Havre jusqu'à Dunkerque, celles de la Méditerranée en entier, et la partie des côtes de l'Océan comprise entre la frontière d'Espagne et Cordouan.

Itinéraire proposé par Augustin Fresnel pour sa dernière inspection des phares.

J'ai l'honneur de vous soumettre en conséquence le projet d'itinéraire suivant :

Je me propose d'abord d'aller, au commencement du mois prochain, dans le département du Nord, visiter le phare de Dunkerque. J'examinerai ensuite successivement les phares de Calais, de Dieppe et d'Ailly, et, si j'en ai le temps, j'irai inspecter de nouveau les phares importants de la Hève, auprès du Havre.

De retour à Paris, je n'y resterai que le temps nécessaire pour terminer les affaires de service les plus pressées, et donner de nouvelles instructions relatives à l'exécution des appareils d'éclairage; après quoi, j'irai à Marseille, et, si l'état de la mer le permet, je visiterai les travaux de la tour de l'île Planier. Je crains qu'ils ne soient pas encore terminés à mon arrivée, et que je ne puisse pas assister à l'installation de l'appareil lenticulaire. Dans ce cas, je donnerai à M. Cousinery des instructions et des renseignements assez détaillés pour qu'il puisse diriger sans moi l'assemblage des pièces de l'appareil et de la machine de rotation. Mais il sera toujours nécessaire d'envoyer sur les lieux, l'année prochaine, quelques semaines avant le jour où le feu devra être allumé, un des conducteurs attachés à la Commission des phares, pour former les gardiens au nouveau service d'éclairage.

N° XXV 30. De Marseille je me rendrai à Toulon ; j'examinerai l'endroit où doit être construit le phare du cap Sicié; mais je ne crois pas avoir le temps, cette année, de prolonger ma tournée vers l'orient jusqu'à Antibes, pour voir les points de la côte où la Commission a proposé d'établir les deux phares du premier ordre du cap Camarat et de la Garouppe.

De Toulon j'irai à Aigues-Mortes visiter le phare du troisième ordre que l'on construit maintenant à l'entrée du port de cette ville. En continuant ma tournée de ce côté, j'inspecterai successivement les petits feux de Cette et d'Agde, dans le département de l'Hérault, et ceux de la Nouvelle et de Port-Vendres, dans les départements de l'Aude et des Pyrénées-Orientales.

Je me rendrai ensuite à Bayonne, pour inspecter le petit phare de Biarritz; puis de Bayonne je retournerai directement à Paris, en passant par Bordeaux, où je ne resterai que le temps nécessaire pour m'entretenir, avec M. l'ingénieur en chef de la Gironde, de l'état actuel du service du phare de Cordouan, et des travaux du phare de la pointe de Grave. Si cependant la mauvaise saison n'était pas trop avancée à l'époque où j'arriverai à Bordeaux, je descendrais la Gironde pour aller visiter ces travaux et voir le feu de Cordouan. Mais il est très-probable que je ne le pourrai pas, et qu'il me sera même difficile de remplir complétement la tâche étendue que je viens d'indiquer.

Je suis, avec un profond respect, etc.

A. FRESNEL.

N° XXV³¹.

LE DIRECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES

À M. AUGUSTIN FRESNEL,

INGÉNIEUR EN CHEF.

Paris, le 26 août 1826.

Monsieur, j'ai reçu la lettre que vous m'avez fait l'honneur de m'écrire le 24 de ce mois, et, d'après le désir que vous m'exprimez, je vous autorise à continuer la tournée que vous avez commencée, l'année dernière, sur les côtes de France, pour la visite des phares. J'en préviens MM. les préfets et les ingénieurs des départements que vous allez parcourir, et je les invite à vous seconder de tous les moyens dont ils disposent pour le succès de votre inspection.

Inspection des phares. Approbation de l'itinéraire proposé par Augustin Fresnel.

MM. les préfets et les ingénieurs des départements de la Seine-Inférieure et de la Gironde ayant été informés l'année dernière de votre tournée, il m'a paru inutile de leur écrire de nouveau pour cet objet.

J'ai l'honneur d'être avec une considération très-distinguée, Monsieur, votre très-humble et très-obéissant serviteur.

Le Conseiller d'État, Directeur général des ponts et chaussées et des mines,

BECQUEY.

N° XXV³².

AUGUSTIN FRESNEL À M. BECQUEY,

DIRECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES.

Paris, le 17 octobre 1826.

Monsieur le Directeur général,

J'ai l'honneur de vous adresser ci-joint un aperçu des dépenses qu'il me paraît nécessaire de faire, l'année prochaine, pour l'amélioration de l'éclairage des côtes de France.

Budget des phares pour 1827.

Maintenant que la Commission des phares a arrêté le système gé-



N° XXXIV. néral de la distribution des feux sur nos côtes, et que la forme et les dimensions des appareils d'éclairage et de leurs lanternes ont été fixées définitivement, le moment est venu, je crois, de donner à la fabrication de ces appareils et de ces lanternes toute l'activité nécessaire pour ne pas retarder l'époque où les marins doivent jouir des améliorations qui leur ont été promises. Lorsqu'on réfléchit sur les pertes considérables que l'imperfection de l'éclairage de nos côtes occasionne chaque année au commerce, on sent qu'on ne saurait trop se hâter de réaliser les espérances que vous avez données aux marins.

Il peut arriver que leurs observations sur la combinaison des feux vous portent, Monsieur le Directeur général, ainsi que la Commission des phares, à modifier quelques parties de son système de distribution; mais, si j'en juge d'après toutes les observations ou réclamations qui m'ont été communiquées jusqu'à présent, elles ne provoqueront aucun changement dans le mode de construction des appareils d'éclairage, et solliciteront plutôt une augmentation qu'une diminution de leur nombre[*].

Ainsi l'on peut en toute sûreté accélérer autant que possible la fabrication de ces appareils et de leurs lanternes, et je crains d'avoir trop peu demandé pour cet objet dans le projet de budget ci-joint.

Après vous avoir fourni à ce sujet, Monsieur le Directeur général, les renseignements que vous m'aviez recommandé spécialement de vous présenter, j'ai cru devoir vous soumettre quelques observations sur les dépenses relatives à la construction des nouveaux phares ou à l'exhaussement des anciennes tours, travaux aussi nécessaires que la fabrication des appareils d'éclairage, pour atteindre le but important que vous vous proposez. Mais il est probable que les demandes des ingénieurs des départements maritimes vont rendre mes observations superflues.

Je suis, etc.

A. FRESNEL.

(*) Prévision qui s'est réalisée.

N° XXV[33].

LE DIRECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES

À M. AUGUSTIN FRESNEL,

INGÉNIEUR EN CHEF.

Paris, le 12 mars 1827.

Monsieur, vous m'avez témoigné le désir que M. votre frère vous fût adjoint dans les fonctions dont vous êtes chargé pour tout ce qui intéresse les phares. Les accroissements que ce service important a pris depuis quelques années, ceux qu'il doit prendre encore, m'ont paru rendre en effet cette adjonction utile, et j'ai acquiescé à votre désir. Je suis bien aise d'ailleurs d'avoir trouvé une occasion de faire quelque chose qui sera pour vous d'un prix tout particulier[*].

Adjonction de Léonor Fresnel à son frère Augustin pour le service des phares.

J'ai, etc.

Le Conseiller d'État, Directeur général des ponts et chaussées et des mines,

BECQUEY.

N° XXV[34].

AUGUSTIN FRESNEL À M. BECQUEY,

DIRECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES.

Paris, le 14 mars 1827.

Monsieur le Directeur général,

J'ai reçu hier la lettre par laquelle vous m'annoncez que vous m'adjoignez mon frère dans le service des phares, et je m'empresse de vous offrir l'hommage de ma reconnaissance pour ce nouveau témoignage de la bienveillance dont vous m'honorez.

Remerciments d'Augustin Fresnel à M. Becquey.

Je sens d'autant plus vivement le prix de cette faveur, que la fai-

[*] Cette décision, prise quatre mois seulement avant la mort d'Augustin Fresnel, fut déterminée par le déplorable état de sa santé.

N° XXV[34]. blesse de ma santé me faisait craindre de ne pouvoir plus bientôt suffire au travail dont je suis chargé. Cette adjonction, qui m'est si agréable sous tous les rapports, et surtout par l'empressement plein de bonté avec lequel vous avez daigné me l'accorder, sera très-utile au service que vous m'avez confié, et contribuera beaucoup, je l'espère, à hâter l'exécution complète de l'éclairage de nos côtes et l'époque où les marins jouiront du résultat de vos vues bienfaisantes.

Je suis, etc.

A. FRESNEL.

N° XXV[35].

AUGUSTIN FRESNEL À M. LESCURE DE BELLERIVE,

INGÉNIEUR EN CHEF DES PONTS ET CHAUSSÉES, À LA ROCHELLE.

Paris, le 29 avril 1827.

Monsieur,

Amélioration provisoire du phare de Chassiron.

Je ne sais pas si je vous ai remercié pour le beau dessin du fanal de Saint-Martin que vous m'avez envoyé cet hiver. Si je ne l'ai pas fait, ayez la bonté d'excuser cet oubli chez un malade qui, quoique chargé d'un service assez doux, a encore trop d'occupations pour ses forces.

Une expérience que j'ai faite, hier, sur l'intensité de la lumière qu'envoie dans les diverses directions un petit réflecteur semblable à ceux que je vous ai envoyés, m'a montré que l'amélioration provisoire apportée dans l'éclairage du phare de Chassiron a dû frapper les marins et les satisfaire (si les gardiens font bien leur service), car j'ai trouvé que l'intensité de la lumière dans l'axe était égale à quatre-vingt-huit becs de quinquet, et que, dans le milieu de vos angles morts, c'est-à-dire dans les directions les moins éclairées, elle devait être encore de quarante becs de quinquet : or votre petit phare sidéral de l'île d'Aix, dont les marins sont si contents, ne donne qu'une lumière égale à quatre becs de quinquet.

N° XXV[35].

Je serais bien aise de savoir à quelle distance on aperçoit maintenant le feu de Chassiron. Si vous avez reçu quelques rapports des marins à ce sujet, ayez la bonté de me les communiquer.

Projet attendu pour le nouveau phare de Chassiron.

Je désirerais savoir aussi quand vous pourrez nous envoyer le projet de la nouvelle tour de Chassiron. C'est une question qu'on me fait souvent à la Commission.

Veuillez bien agréer, Monsieur, l'expression de la haute considération et du sincère attachement avec lesquels je suis

Votre dévoué serviteur,

A. FRESNEL.

N° XXV[36].

AUGUSTIN FRESNEL À M. AUGUSTE DESFORGES,

ENTREPRENEUR DE L'ÉCLAIRAGE DES PHARES.

Paris, le 28 mai 1827.

Monsieur,

Amélioration provisoire du phare de Chassiron.

Sur la proposition de la Commission des phares, M. le directeur général vient de décider que huit lampes d'Argant ordinaires, munies de leurs réflecteurs paraboliques, vont être substituées à l'appareil vicieux qui sert depuis trop longtemps à éclairer le phare de la Chaume. Les lampes et leurs réflecteurs sont rendus à leur destination, et M. [l'ingénieur] Plantier s'occupe en ce moment à faire construire l'armature qui doit les supporter. Ainsi l'amélioration si désirée de l'éclairage du phare de la Chaume ne tardera pas à avoir lieu.

M. Richer, ingénieur en chef de la Vendée, demande qu'au lieu de huit becs on en allume dix, et je présume que la Commission des phares ne s'y refusera pas; c'est, au reste, ce qu'elle décidera dans sa prochaine séance.

Ce changement de feu va nécessiter la rédaction d'un nouveau détail estimatif de la dépense annuelle d'après le prix de l'huile fixé par

N° XXV[36]. votre bail, comme cela a déjà été fait pour le phare de Cordouan, lors de l'installation du nouvel appareil. Je vous prie, Monsieur, d'avoir la complaisance de rédiger ce petit détail estimatif le plus tôt possible, en donnant tous les éléments de la dépense, comme vous aviez fait pour le phare de Cordouan, et de m'en adresser une copie en même temps que vous en enverrez une autre à M. Richer, qui doit présenter aussi son estimation à M. le directeur général, ou du moins lui donner son avis sur la vôtre.

Il serait bon de faire le calcul dans le cas de huit becs et dans le cas de dix becs, ce qui est facile. Chacun de ces becs brûle, moyennement, 35 grammes d'huile par heure : en supposant la consommation de 40 grammes, on est certain de ne pas se trouver au-dessous de la combustion la plus active. Dans cette hypothèse, chaque bec brûlera au plus 160 kilogrammes d'huile par an ; par conséquent, huit becs brûleront 1280 kilogrammes, et dix becs, 1600 kilogrammes [a].

J'ai l'honneur d'être avec une considération très-distinguée, Monsieur, votre, etc.

A. FRESNEL.

---

[a] Cette lettre est la dernière dépêche administrative minutée par Augustin Fresnel.

NOTE DE L'ÉDITEUR

SUR LE CLASSEMENT DES PIÈCES COMPOSANT LES DEUX DERNIERS NUMÉROS DU TOME III DES ŒUVRES D'AUGUSTIN FRESNEL.

L'amélioration des phares maritimes n'a pas été l'unique objet des études d'Augustin Fresnel sur les appareils d'éclairage. On peut citer particulièrement trois circonstances où il a eu à s'occuper d'*éclairage urbain :*

1° En 1822, à la demande du préfet de la Seine, pour l'éclairage du cadran de l'Hôtel de ville de Paris;

2° En 1825, à la demande du même magistrat, pour l'éclairage des quais du canal Saint-Martin;

3° En 1826, à la demande du chef du département des beaux-arts de la Maison du Roi, pour l'examen du système d'illumination des théâtres imaginé par l'ingénieur Locatelli.

Nous n'avons pas cru devoir réunir les trois études répondant à ces demandes, pour en former un chapitre spécial, et d'autant moins que les résultats de la deuxième n'ont été définitivement appliqués qu'aux phares lenticulaires, dont ils ont transformé la partie accessoire avec un si notable accroissement d'effet utile[*].

---

[*] Voyez N° XXI.



La correspondance et les expériences relatives à l'illumination des salles de spectacle, ayant occupé les derniers jours de notre auteur, devaient naturellement terminer le recueil de ses Œuvres.

Quant aux documents relatifs à l'appareil exécuté, dès 1822, pour éclairer le cadran de l'Hôtel de ville de Paris, ils n'auraient pu figurer à leur rang chronologique sans troubler l'ordre des matières, et ils ont, en conséquence, été placés, sous le numéro collectif XXVI, immédiatement avant la troisième et dernière étude.

XXVI.

ÉCLAIRAGE

DU CADRAN DE L'HÔTEL DE VILLE DE PARIS[a].

N° XXVI (A).

AUGUSTIN FRESNEL À M. MOLINOS,

ARCHITECTE DE LA PRÉFECTURE DE LA SEINE.

Paris, le 6 février 1822.

Monsieur,

Après y avoir réfléchi mûrement, je suis toujours d'avis qu'un seul réflecteur placé en avant du cadran [de l'Hôtel de ville] est préférable au système de deux réflecteurs qui l'éclaireraient de côté. Je vois dans la première disposition plus de facilité à distribuer la lumière uniformément sur la surface du cadran, plus de simplicité dans le service, et une économie de moitié sur la dépense d'huile.

Cette disposition exige que le point de suspension de la lanterne soit à 7 pieds en avant du cadran, et que, en conséquence, on la descende sur le perron pour l'allumer. L'avantage de faire le service par les fenêtres du premier étage ne me paraît pas pouvoir balancer ceux dont je viens de parler.

Comme il est à désirer que cette lanterne, qui devra être élevée tous les jours à 60 pieds de hauteur, pèse le moins possible, je fais

---

[a] Les résultats de l'étude demandée par le comte Chabrol de Volvic, préfet de la Seine, à Augustin Fresnel, pour l'éclairage du cadran de l'Hôtel de ville de Paris, sont consignés dans la Note suivante [N° XXVI (B)], que complète à quelques égards la présente lettre.



N° XXVI (A). construire en ce moment un nouveau réflecteur, plus petit que le premier, ce qui permettra de rapetisser aussi la lanterne. Je compte que le poids total n'excédera pas 12 livres, et qu'il ne sera pas nécessaire d'employer un treuil, mais seulement une poulie mouflée, pour élever la lanterne, ce qui ira plus vite.

Je vous prie, Monsieur, d'avoir la bonté de m'envoyer le serrurier que vous chargerez de la construction de la potence, afin que je lui indique la hauteur à laquelle le réverbère devra être placé au-dessus du centre du cadran et le moyen de le maintenir dans une direction invariable.

J'ai l'honneur d'être, avec une haute considération,

Monsieur,

Votre très-humble et très-obéissant serviteur,

A. FRESNEL,

Ingénieur des ponts et chaussées, rue des Fossés-Saint-Victor, n° 19.

N° XXVI (B).

NOTE

SUR L'ÉCLAIRAGE DU CADRAN DE L'HÔTEL DE VILLE DE PARIS[1].

[...février 1822.]

On peut montrer l'heure, la nuit, de plusieurs manières, soit en faisant passer des chiffres découpés devant une ouverture éclairée par une lumière intérieure, soit en traçant les heures sur une glace dépolie, qu'on éclairerait par derrière comme un transparent. Mais pour l'Hôtel de ville de Paris, on désirait conserver le cadran actuel, qui est en émail et a coûté fort cher; d'ailleurs la prudence conseillait de ne pas porter de feu dans les combles du bâtiment, qui renferment beaucoup de meubles et de papiers : c'est pourquoi l'on a pris le parti d'éclairer ce cadran par dehors, disposition qui avait déjà été employée avec succès, je crois, à Glascow ou à Édimbourg.

On a rempli cet objet en plaçant une lampe en avant du cadran et à une hauteur telle qu'elle n'en masquât aucune partie aux observateurs les plus éloignés. Comme le cadran de l'Hôtel de ville est à

[1] Au commencement de 1822, Fresnel, invité par le comte Chabrol de Volvic, alors préfet de la Seine, à s'occuper de l'étude d'un appareil d'éclairage pour le grand cadran de l'horloge de l'Hôtel de ville de Paris, fit exécuter à cet effet un réverbère satisfaisant à la condition de projeter une lumière uniformément répartie sur le cercle à éclairer. On employa d'abord une lampe ordinaire à niveau constant; mais, eu égard aux embarras et aux chances d'accidents que présentaient journellement la descente et l'ascension du réverbère suspendu à 20 mètres de hauteur, le bec d'Argant fut remplacé, à dater de 1826, par un bec à gaz.

La présente Note descriptive (à laquelle nous avons joint un commentaire) fut rédigée pour répondre aux questions de la légation du grand-duché de Toscane sur ce nouvel appareil d'éclairage.

N° XXVI (B). 60 pieds au-dessus du sol, et que la place de Grève n'est pas assez large pour qu'on puisse le voir dans une direction perpendiculaire à plus de 300 pieds de distance, il n'était pas nécessaire de placer la lampe aussi haut que le bord supérieur du cadran, et l'on a pu la mettre 18 pouces plus bas. Sa distance horizontale est de 7 pieds. Le cadran a 8 pieds de diamètre, sans la bordure, et 9 pieds en comptant la bordure.

Le bec de lampe qui éclaire le cadran est un bec de quinquet ordinaire de 10 lignes de diamètre : il est placé dans l'intérieur d'un réflecteur argenté ayant $0^m,30$ ou 11 pouces d'ouverture, et $0^m,22$ ou 8 pouces de profondeur. Le profil de ce réflecteur approche assez de la forme d'une ellipse, mais n'en est cependant pas une; il a été tracé d'après d'autres principes.

Son objet étant de renvoyer sur le cadran les rayons lumineux qui n'y peuvent tomber directement, il fallait lui donner assez de profondeur pour qu'il recueillît la presque totalité de ces rayons, et la forme convenable pour les distribuer le plus uniformément possible sur la surface qu'il s'agissait d'éclairer.

Afin de simplifier le problème, j'ai supposé d'abord que la lumière destinée à éclairer le cadran devait être placée sur une ligne menée par le centre du cadran perpendiculairement à sa surface, et que toute la flamme du bec de lampe était concentrée en un seul point lumineux. Puis, considérant ce point comme le centre d'une sphère, j'ai pu prendre les diverses parties de la surface de cette sphère pour la mesure de la quantité de rayons lumineux qu'elles contenaient. Dans mon épure, j'ai divisé le cercle qu'il s'agissait d'éclairer en une série d'anneaux concentriques d'égale largeur; et, par une construction très-simple, que la géométrie indique, j'ai divisé de même la surface de la sphère lumineuse en zones exactement proportionnelles aux superficies de ces anneaux. Alors j'ai déterminé l'inclinaison des différentes parties de la surface du miroir de manière que les rayons compris dans chaque zone de la sphère lumineuse fussent renvoyés sur l'anneau correspondant du cadran. De cette manière, chaque anneau doit recevoir

une quantité de rayons proportionnelle à sa superficie. Comme tout était semblable autour de l'axe commun du réflecteur et du cadran, dans le cas que je considérais, il suffisait de dessiner l'épure pour un plan quelconque passant par cet axe. Si l'on conçoit ensuite que le profil du réflecteur tracé dans ce plan tourne autour de l'axe, on voit qu'il engendrera la surface du réflecteur. Elle sera ainsi une surface de révolution et pourra être exécutée au tour, à l'aide d'un patron coupé sur l'épure [a].

Maintenant, si l'on incline l'axe du réflecteur sur le plan du cadran, ou, ce qui revient au même, le plan du cadran sur l'axe du réflecteur, on conçoit que tous les points de ce cercle ne seront plus également éclairés; que l'extrémité la plus voisine du réflecteur recevra nécessairement plus de lumière que l'extrémité la plus éloignée, et qu'enfin la surface du miroir qui satisferait à la condition de distribuer la lumière réfléchie d'une manière uniforme sur le cadran ne serait plus une surface de révolution. Mais comme il serait très-difficile d'exécuter avec précision des surfaces qu'on ne pourrait pas travailler sur le tour, j'ai appliqué à l'éclairage du cadran de l'Hôtel de ville la forme que j'avais tracée pour le cas où le réflecteur aurait été placé à la même hauteur que le milieu du cadran, en ayant soin seulement de l'incliner de la quantité nécessaire pour que le contour du cercle lumineux qu'il projetait coïncidât avec le contour du cadran. De cette manière la partie inférieure du cadran devait être nécessairement moins éclairée par le réflecteur que la partie supérieure, qui en est plus voisine. Mais il faut observer que les rayons réfléchis par le miroir se croisent de façon que c'est le bas du miroir qui éclaire le haut du cadran, et réciproquement, et que le bec de lampe placé dans l'intérieur du réflecteur intercepte une partie des rayons dirigés vers la partie inférieure de celui-ci; en sorte qu'il doit en résulter, pour la partie supérieure du cadran, une diminution de lumière réfléchie qui peut compenser jusqu'à un certain point l'accroissement résultant du voisinage de la lan-

[a] Voyez l'Appendice que nous avons joint comme complément à cette Note.

N° XXVI (B). terne. La forme bombée du cadran de l'Hôtel de ville et l'émail qui le recouvre sont bien moins favorables à l'égalité de lumière qu'une surface plane peinte en blanc mat. Néanmoins les chiffres du bas se lisent très-bien, et la différence de clarté qu'on observe entre le haut et le bas du cadran n'est pas assez tranchée pour choquer la vue. L'un portant l'autre, la quantité de lumière que reçoit chaque point du cadran est environ six fois aussi grande que s'il avait été éclairé par une lampe semblable sans réflecteur, c'est-à-dire que l'effet produit par le réflecteur équivaut à cinq becs de quinquet.

La méthode que j'ai suivie dans le tracé du profil du réflecteur consiste à considérer chaque petit arc de la courbe comme un miroir plan, et à lui faire faire un angle égal avec le rayon incident parti du foyer et avec la direction qu'on veut donner au rayon réfléchi. On trace ainsi la courbe par une suite de tangentes, sans avoir besoin de calculer son équation. Ce procédé géométrique pourrait être appliqué avec avantage à beaucoup d'autres problèmes d'éclairage.

Après avoir construit le réflecteur d'après les principes que je viens d'exposer, je l'ai renfermé avec sa lampe dans une lanterne destinée à les garantir du vent et de la pluie. Cette lanterne n'est vitrée que du côté du cadran, pour laisser passer les rayons lumineux destinés à l'éclairer. Comme elle masque des autres côtés le réflecteur et le bec de quinquet placé à son foyer, et ne laisse passer aucune lumière, elle est difficilement aperçue la nuit par les spectateurs qui regardent le cadran.

Elle est attachée par une armature à une petite barre de fer, dont l'extrémité supérieure, tirée par une corde, vient s'engager dans une douille pratiquée dans le bras horizontal de la potence, de façon que la lanterne se trouve toujours placée à la même hauteur et fixée dans la même direction. Une fois en place, elle ne peut plus osciller ni tourner par l'effet du vent, et sa lumière reste invariablement dirigée sur le cadran. La corde qui sert à l'élever, après avoir passé sur plusieurs poulies de renvoi, que les localités nécessitaient, vient s'enrouler sur le cylindre d'un treuil, à l'aide duquel on monte la lanterne sans

efforts et sans secousses. Pour l'empêcher de tourner et d'osciller pendant qu'on l'élève ou qu'on la descend, on a passé, dans l'anneau d'une petite tige de fer attachée derrière l'armature de la lanterne, une autre corde, qu'on fait descendre d'abord, et dont on fixe l'extrémité en bas, avant de laisser dérouler la corde plus forte qui supporte la lanterne; de manière que, lorsque celle-ci vient à descendre, elle est obligée de suivre cette première corde, qui lui sert de conducteur. Quand on a allumé la lampe, on commence par la remonter, en laissant le conducteur tendu, pour diriger l'ascension de la lanterne et l'empêcher d'osciller et de tourner; de façon que le tenon de la barre de fer qui surmonte l'armature vient toujours se présenter dans son véritable sens à la douille de la potence qui doit le recevoir; puis on hisse la corde qui a servi de conducteur. N° XXVI (B).

On voit que le service de cette lanterne est simple et doit se faire assez promptement; mais il exige deux personnes, l'une en bas, pour allumer la lampe, et l'autre en haut, pour la monter. Si l'on n'avait pas trouvé d'inconvénient à porter de la lumière dans les combles du bâtiment, on aurait pu disposer les choses de telle sorte que le service n'exigeât qu'une seule personne. Il aurait suffi pour cela de faire tourner la potence sur deux gonds, au lieu de la sceller dans la muraille; et, par un petit escalier pratiqué à droite ou à gauche du cadran, l'allumeur aurait pu venir prendre la lampe (en faisant tourner la potence), y mettre de l'huile, l'allumer et ramener ensuite la potence dans une direction perpendiculaire à la façade du bâtiment, à l'aide d'une corde et d'une poulie de renvoi. On manœuvrerait la potence plus commodément encore en adaptant à son équerre, qui tourne sur des gonds, une roue dentée, que ferait marcher un petit engrenage par une ouverture pratiquée dans la muraille.

C'est peut-être ce mécanisme qu'il faudrait adopter pour le cadran que S. A. R. le grand-duc de Toscane voudrait faire éclairer, vu sa hauteur considérable au-dessus du sol; car il serait pénible d'être obligé d'élever, chaque jour, la lanterne à 130 pieds.

D'après l'indication qui a été donnée des dimensions de ce cadran,

N° XXVI (B). il paraîtrait que sa superficie est au moins trois fois celle du cadran de l'Hôtel de ville de Paris. Dans cette hypothèse, il faudrait que la lanterne destinée à éclairer cet énorme cadran contînt trois réflecteurs pareils à celui de l'Hôtel de ville, portant, chacun à son foyer, un bec de quinquet; ou, ce qui serait plus simple, il faudrait employer un réflecteur de $0^m,40$ d'ouverture et $0^m,29$ de profondeur, au foyer duquel on placerait un bec de lampe ayant deux mèches concentriques, tel que les becs que nous avons fait faire, M. Arago et moi, pour l'éclairage des phares. Ils produisent l'effet de cinq quinquets ordinaires, et la quantité d'huile qu'ils consomment est à peu près dans la même proportion.

N° XXVI (C).

APPENDICE DE L'ÉDITEUR

À LA NOTE D'AUGUSTIN FRESNEL

SUR L'ÉCLAIRAGE DU CADRAN DE L'HÔTEL DE VILLE DE PARIS.

Nous complétons la Note descriptive ci-dessus, par la reproduction, à l'échelle de moitié, du seul dessin nettement arrêté qui nous soit resté des études d'Augustin Fresnel pour l'éclairage du cadran de l'Hôtel de ville de Paris. C'est une épure au crayon du tracé de la courbe génératrice du réflecteur. Il est supposé placé à $3^{m},50$ en avant du cadran, et présente des dimensions excédant un peu celles qui ont été définitivement adoptées. (Voyez la planche XVII.)

Le procédé graphique repose sur ces deux théorèmes :

1° Si l'on décrit une suite de cercles concentriques avec des rayons croissant comme les nombres naturels 1, 2, 3, 4, etc. il en résultera une suite de zones circulaires proportionnelles à la série des nombres impairs 1, 3, 5, 7, etc.

2° Si, prenant pour centre une extrémité du diamètre d'un cercle, on coupe sa circonférence par une suite d'arcs dont les rayons répondent, comme les précédents, à la série des nombres naturels, la circonférence ainsi graduée engendrera, par sa révolution autour du diamètre, une surface sphérique partagée en zones dont les hauteurs, et conséquemment les surfaces, seront aussi proportionnelles à la série des nombres impairs.

Cela posé, on peut résumer ainsi la marche suivie par A. Fresnel dans le tracé, en grandeur d'exécution, du patron de son réflecteur, opération graphique qu'il a combinée de manière à ne pas sortir des limites d'un dessin ordinaire :

1° Sur l'axe XX, supposé d'abord horizontal, a été rapportée, à l'échelle du dixième, la distance du foyer F au centre C du cadran circulaire, dont le diamètre RR' (de 3 mètres) a été réduit dans la même proportion.

2° Le rayon CR de ce cadran a été divisé en parties égales : le nombre arbitraire *n* de ces divisions a été porté à trente sur l'épure au crayon, et les

N° XXVI (C). éléments extrêmes ont été sous-divisés d'autant plus qu'ils sont plus voisins du bord.

3° Du foyer F comme centre a été décrit un cercle (représentant la sphère lumineuse), avec un rayon déterminé par la condition que la corde menée de l'extrémité C′ du diamètre au point d'intersection de ce cercle auxiliaire avec le rayon incident FO rasant le bord du réflecteur soit égale au rayon CR du cadran réduit au dixième [1].

4° Du même point C′ comme centre, et avec des rayons respectivement égaux à ceux des trente divisions (n), $(n-1)$, $(n-2)$, etc. du cadran et des sous-divisions, ont été décrits des arcs dont les intersections avec la circonférence CMM′ ont déterminé les points de division des zones de la sphère lumineuse proportionnelles aux zones circulaires du cadran; puis du foyer F ont été menés n rayons par ces points d'intersection.

5° Passant ensuite au tracé des séries de tangentes, dont les intersections successives devaient déterminer approximativement la courbe génératrice du réflecteur, au dixième et en grandeur d'exécution, l'auteur a pris pour points de départ les extrémités o, o' et O, O′ des deux profils. Les perpendiculaires menées par o et o' aux lignes milieu des deux angles FoR′ et Fo'R (ou les lignes milieu de leurs suppléments) ont donné les deux tangentes extrêmes n° (n) à la petite courbe, et les deux parallèles menées à ces lignes par O et O′ ont donné de même les deux tangentes extrêmes à la *courbe-patron*.

La rencontre de ces tangentes avec les rayons incidents immédiatement suivants (que nous désignerons par $F^{(n-1)}$) a déterminé les seconds points $(n-1)$ des profils, et les perpendiculaires menées par ces points aux lignes milieu des angles compris entre les rayons incidents $F^{(n-1)}$ et les rayons réfléchis correspondants ont déterminé, comme pour les points O, o, les tangentes n° $(n-1)$.

Ce mode de construction, ainsi continué jusqu'à l'axe, a donné, pour les deux profils du réflecteur, un tracé polygonal qui devait se rapprocher d'autant plus de la courbe théorique, que le nombre n des zones circulaires et sphériques était plus considérable.

[1] On satisfait à cette condition par la formule $x = \sqrt{\frac{\delta\rho^2}{2(b+\delta)}}$, dans laquelle b représente la distance du foyer au cadran, ρ le rayon de ce cadran, et δ la longueur du rayon mené du foyer F au bord O du profil du réflecteur.

Le calcul appliqué à l'épure d'Augustin Fresnel donne $x = 79^{mm}.764$.

XXVII.

CORRESPONDANCE ET NOTES

RELATIVES

AU SYSTÈME PROPOSÉ PAR L'INGÉNIEUR LOCATELLI

POUR L'ÉCLAIRAGE DES THÉÂTRES [*].

N° XXVII[1].

LETTRE DU VICOMTE DE LA ROCHEFOUCAULD,

CHARGÉ DU DÉPARTEMENT DES BEAUX-ARTS,

À M. AUGUSTIN FRESNEL,

MEMBRE DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES.

Paris, le 19 janvier 1827.

L'état d'imperfection où est resté l'éclairage de l'intérieur des théâtres contraste, Monsieur, avec les progrès faits par les autres parties de l'art qui concourent à l'éclat des représentations théâtrales. Dans le but d'améliorer un

[*] Les Notes et les extraits de Correspondance administrative dont se compose ce dernier fascicule de notre publication ont pour objet un système d'éclairage théâtral, que l'inventeur avait proposé avant d'en avoir rationnellement apprécié les effets. C'est du moins ce qui nous paraît ressortir des renseignements, d'ailleurs fort incomplets, que fournit à cet égard le dossier. L'examen et la discussion d'un tel système étaient sans doute assez peu dignes d'occuper aussi laborieusement les derniers jours de Fresnel, déjà presque épuisé par la maladie de langueur à laquelle il allait bientôt succomber. Nous ne pouvions toutefois nous dispenser de reproduire ses observations sur un problème intéressant, qui attend encore une solution pleinement satisfaisante, et leur publication rendait indispensable celle des documents administratifs qui en forment le commentaire.

N° XXVII[1]. système dont dépendent la plupart des illusions de la scène, j'ai cru devoir appeler à Paris un ingénieur, inventeur d'un mode nouveau d'éclairage et d'un appareil propre à remplacer les lustres actuellement en usage dans tous les théâtres. Il paraîtrait devoir résulter de grands avantages de cette invention, et mon intention est de lui donner tout l'appui qu'elle peut mériter. Mais, avant d'adopter les idées de M. Locatelli et de le charger de l'exécution de quelques travaux, je désire confier l'examen de ses plans et projets aux personnes qui, par leurs connaissances théoriques et pratiques, peuvent le mieux apprécier leur utilité réelle. En conséquence, j'ai cru devoir créer, à cet effet, une Commission composée de cinq membres, et qui sera présidée par M. le comte de Turpin, inspecteur général au Département des Beaux-Arts. Confiant, Monsieur, dans les connaissances que vous avez acquises de cette partie de l'art, il me sera agréable d'apprendre que vous consentez à partager les travaux de cette Commission, dont je vous ai nommé membre.

La première séance de cette Commission doit avoir lieu le mardi 23 du courant, à midi précis, à l'hôtel du Département des Beaux-arts, rue de Grenelle-Saint-Germain, n° 119, et, en vous invitant à vous y rendre, je ne puis que vous exprimer de nouveau le désir que j'ai formé de vous voir chargé de l'examen des plans de M. Locatelli.

Recevez, Monsieur, l'assurance de ma considération distinguée.

L'aide de camp du Roi, chargé du Département des Beaux-Arts,

V[te] DE LA ROCHEFOUCAULD.

N° XXVII[2].

AUGUSTIN FRESNEL AU COMTE TURPIN DE CRISSÉ,

INSPECTEUR GÉNÉRAL AU DÉPARTEMENT DES BEAUX-ARTS DE LA MAISON DU ROI.

Paris, le 5 février 1827.

Monsieur le Comte,

Depuis que j'ai reçu le dessin de la salle des Italiens, je me suis occupé des calculs relatifs à l'expérience projetée pour juger approxi-

mativement des effets que produirait l'*astro-lampe* de M. Locatelli. En supposant que la lumière de ses soixante et douze becs d'Argant soit distribuée dans la salle de la manière la plus avantageuse, j'ai trouvé que les spectateurs seraient éclairés par une lumière égale en intensité à celle que donne un quinquet à 6 pieds de distance. Il s'agit donc d'envoyer une lumière d'une intensité pareille sur un point des premières ou des troisièmes loges, avec un réflecteur placé au milieu du plafond, pour imiter à peu près l'effet de l'astro-lampe. N° XXVII[2].

Le moyen le plus simple de remplir cet objet n'est pas d'employer quelques éléments de l'astro-lampe, comme je l'avais proposé, mais de construire un réflecteur qui produise l'intensité de lumière indiquée par le calcul. Les réflecteurs de M. Locatelli seraient probablement assez grands pour les troisièmes loges; mais ils seraient trop faibles pour les premières, beaucoup plus éloignées du point radieux. On pourrait faire construire à peu de frais deux réflecteurs de dimensions convenables. Je crois que cette dépense n'excéderait pas 80 francs. Si vous le désirez, Monsieur le Comte, je puis les commander dès à présent à M. Pixii, fabricant d'instruments de physique, qui me comprendra plus aisément que M. Locatelli, dont je n'ai pas l'adresse. Dans cet essai, notre but n'étant pas d'employer l'astro-lampe, mais de produire sur un point de la salle un effet équivalent au sien, il me semble qu'on peut se dispenser d'avoir recours à M. Locatelli, qui d'ailleurs serait, comme nous, obligé d'employer un artiste pour exécuter les réflecteurs que nous lui aurions demandés. Pour toutes les autres expériences, au contraire, son concours me paraît indispensable.

Je suis, avec respect, Monsieur le Comte, votre, etc.

A. FRESNEL.

N° XXVII³.

LE COMTE TURPIN DE CRISSÉ À AUGUSTIN FRESNEL.

Paris, le 8 février 1827.

Monsieur,

J'ai reçu la lettre que vous avez bien voulu m'adresser, contenant le résultat des calculs que vous avez faits relativement à l'astro-lampe de M. Locatelli. Quelque confiance que nous puissions avoir dans l'exactitude de ces calculs, il me semble que l'expérience seule, faite un peu en grand, pourra justifier ou détruire les espérances et les promesses de l'inventeur.

Je pense aussi, Monsieur, que nous ne pouvons lui refuser la direction de ce travail. Si nous chargions M. Pixii de la fabrication des réflecteurs, M. Locatelli pourrait supposer qu'ils n'auraient pas été exécutés avec tout le soin possible, et nous nous trouverions responsables du mauvais succès de l'expérience. J'aurai donc l'honneur de vous proposer d'indiquer à M. Locatelli M. Pixii comme parfaitement capable de confectionner ses réflecteurs, mais que ce travail sera fait sous les yeux mêmes de l'inventeur. Nous vous prierons aussi de vouloir bien nous donner l'adresse de cet habile fabricant, et de nous accorder encore vos bons avis lorsque nous croirons nécessaire de réunir la Commission, soit au Département des Beaux-Arts, soit au Théâtre-Italien.

Veuillez, Monsieur, recevoir encore nos remercîments, et l'assurance de la haute considération et des sentiments distingués avec lesquels j'ai l'honneur d'être votre très-humble serviteur.

L'inspecteur général au Département des Beaux-Arts,

Cte TURPIN DE CRISSÉ.

N° XXVII³.

AUGUSTIN FRESNEL AU COMTE TURPIN DE CRISSÉ.

Paris, le 10 février 1827.

Monsieur le Comte,

Il y a sans doute à Paris beaucoup d'autres artistes que M. Pixii capables de bien faire des réflecteurs paraboliques dont on leur tracerait les calibres. Si j'ai indiqué M. Pixii, c'est parce qu'il ne demeure pas très-loin de chez moi, et qu'il m'aurait été plus commode de diriger ce travail dans son atelier; mais les mêmes raisons n'existent pas sans doute pour M. Locatelli. Au reste, voici l'adresse de M. Pixii, dans le cas où elle pourrait lui être utile : c'est *rue du Jardinet, n° 2*, derrière l'École de médecine.

L'expérience que j'avais proposée n'était point destinée à convaincre M. Locatelli, qui en rejetterait probablement les conséquences, si elles étaient défavorables à son système; voilà pourquoi je pensais qu'il était inutile d'avoir recours à lui pour la faire. Mon but était seulement de procurer, à peu de frais, à la Commission une représentation de l'effet de l'astro-lampe, sous le rapport de la direction et de l'intensité des rayons. L'intensité, qu'il suffit de reproduire à peu près, aurait été vérifiée en la comparant à celle d'un quinquet, et en examinant les bases du calcul très-simple par lequel j'ai évalué approximativement la lumière que répandrait l'astro-lampe. Quant à la direction des rayons, rien n'est plus facile que d'imiter exactement celle de l'astro-lampe.

Les cônes lumineux réfléchis par les miroirs de cet appareil empiétant les uns sur les autres, un point de la salle n'est pas éclairé par un seul réflecteur, mais par plusieurs. Voilà pourquoi, si l'on veut produire un effet équivalent avec un seul réflecteur, il faut qu'il ait d'autres dimensions que ceux de l'astro-lampe. Il me semble que j'avais déjà fait cette observation à la Commission, dans sa dernière séance,

N° XXVII⁴. et que je l'avais prévenue qu'il fallait avoir recours au calcul pour déterminer ces dimensions.

Au reste, Monsieur le Comte, je suis si accablé d'occupations en ce moment, que je dois me féliciter de n'avoir pas été pris au mot lorsque je vous ai offert de me charger de préparer l'expérience dont il s'agit. Je n'en suis pas moins toujours prêt à concourir aux travaux de la Commission et à vous donner mon avis, quand vous croirez en avoir besoin.

Je suis, etc.

A. FRESNEL.

N° XXVII⁵.

NOTE

SUR LE SYSTÈME DE M. LOCATELLI

POUR L'ÉCLAIRAGE DES SALLES DE SPECTACLE[*]

[Adressée au Vte Sosthène de la Rochefoucauld, le .... mars 1827.]

Les raisonnements de M. Locatelli ne présentent pas, à mon avis, une démonstration convaincante des avantages de son astro-lampe.

---

[*] Cette Note était accompagnée de la lettre d'envoi suivante :

Paris, le..... mars (?) 1827.

«Monsieur le Vicomte, j'ai l'honneur de vous adresser mes observations sur les «propositions avancées dans le programme de M. Locatelli. Je me serais acquitté «bien plus promptement de ce devoir, si le mauvais état de ma santé ne me rendait «la moindre application très-pénible.

«Je suis, avec respect, etc.

«A. FRESNEL.»

D'abord, si cet appareil nécessite l'emploi de cent lampes pour éclairer seulement la salle, il sera moins économique que les lustres ordinaires. N° XXVII.

Il ne gênera pas, à la vérité, comme ceux-ci, une partie des spectateurs placés dans le haut de la salle; mais il éclairera d'une manière défavorable la figure de ceux qui occuperont les premières galeries, en raison de la direction des rayons, qui s'approchera trop de la verticale. Je ne saurais admettre avec M. Locatelli que les effets de l'astro-lampe puissent ressembler à ceux de la clarté du jour. Pendant le jour, les objets éclairés par le soleil le sont aussi de tous côtés par l'immense quantité de lumière qui vient de l'atmosphère, et par la réflexion brillante du sol, ce qui adoucit beaucoup les ombres portées. Les circonstances ne seront pas semblables dans une salle éclairée par l'astro-lampe. Il y a deux parties considérables de sa superficie qui renverront bien peu de lumière diffuse : le plafond, en raison de la manière oblique dont il sera éclairé, et le parterre, à cause des habits noirs des spectateurs. Ainsi les ombres portées de l'astro-lampe ne seront adoucies que par la lumière de la scène et par les rayons réfléchis sur les loges et les galeries.

Je n'ai pas assez étudié l'astro-lampe de M. Locatelli pour juger d'avance s'il répandra sa lumière d'une manière convenable et avec uniformité dans les diverses parties de la salle. Je ne pourrais entreprendre cet examen un peu pénible que sur le dessin *exact* et *définitif* d'après lequel M. Locatelli se proposerait d'exécuter son appareil. Je suis trop mal portant en ce moment pour me charger de ce travail.

L'idée d'éclairer toute la salle par un grand foyer de lumière placé au centre du plafond ne me paraît pas la combinaison la plus heureuse. Il me semble qu'il vaudrait mieux distribuer les lampes sur la circonférence de la coupole, s'il s'agissait de l'Opéra, ou sur les trumeaux des troisièmes loges, si l'on appliquait ce système à la salle des Italiens. On entourerait ainsi le haut de la salle d'une couronne de lumière, qui enverrait des rayons beaucoup moins verticaux sur les spectateurs qu'elle éclairerait. Chaque lampe serait munie d'un réflecteur elliptique

N° XXVII[5]. ou hyperbolique, et non point parabolique, comme ceux de l'astro-lampe, en sorte que l'on n'aurait pas besoin d'y ajouter des verres concaves pour faire diverger les rayons. En dirigeant convenablement chaque réflecteur, il serait aisé d'obtenir la distribution de lumière qui paraîtrait la plus avantageuse à l'éclairage de la salle. Ainsi, par exemple, on pourrait à volonté augmenter la clarté de ses parois verticales, c'est-à-dire des loges et des galeries, en diminuant d'autant la quantité des rayons dirigés sur le parterre ou sur le plafond.

Ce système me paraît être celui qui se prête le plus facilement à toutes les combinaisons, et qui doit éclairer la salle et les spectateurs de la manière la plus avantageuse, en raison de la position et de la division des lumières.

N° XXVII[6].

PROGRAMME

DES EXPÉRIENCES NÉCESSAIRES POUR APPRÉCIER LES AVANTAGES ET LES INCONVÉNIENTS DU SYSTÈME D'ÉCLAIRAGE DES SALLES DE SPECTACLE

PROPOSÉ PAR M. LOCATELLI.

Il est naturel de commencer par les expériences les plus faciles et les moins dispendieuses, et de comparer d'abord un petit réflecteur en pyramide tronquée, de M. Locatelli, avec les réflecteurs ordinaires employés actuellement à l'illumination de la galerie et des coulisses. On déterminera par des mesures les intensités relatives de la lumière, et l'on examinera aussi quel est l'appareil qui la distribue de la manière la plus avantageuse. On pourra essayer en même temps si l'on n'augmenterait pas l'éclat des petites lanternes de M. Locatelli, sans nuire à l'égale distribution de la lumière, en tapissant leur surface intérieure d'une feuille d'argent mat recouverte d'un vernis. Les deux lanternes

présentées à la Commission serviront à cette expérience, pour laquelle il suffira de faire construire une troisième lanterne, dont on argentera l'intérieur. N° XXVII°.

Après avoir comparé l'effet particulier de chacun des réflecteurs de M. Locatelli à celui des réflecteurs ordinaires, il faut tâcher de se faire une idée juste de l'effet général résultant de la réunion de ceux-là dans l'illumination de la scène. Pour cela, le moyen le plus sûr est d'éclairer successivement la scène tout entière avec des réflecteurs de M. Locatelli, puis avec des réflecteurs ordinaires, en choisissant un des plus petits théâtres, afin de diminuer la dépense. Les frais de cette expérience ne seront pas très-considérables, si on la fait dans la scène de la salle de***

Quant à l'astro-lampe de M. Locatelli, qui est destiné à éclairer l'intérieur d'une grande salle de spectacle, il paraît difficile, au premier abord, de juger de ses effets sans le construire entièrement et suivant les dimensions indiquées par l'inventeur : or la construction de cet appareil coûterait 6,000 ou 7,000 francs, d'après l'estimation de l'auteur, et peut-être davantage.

Mais il est aisé de voir que la plupart des questions relatives au nouveau système d'illumination peuvent être résolues à peu de frais, en employant seulement quelques éléments de l'appareil et en examinant les effets qu'ils produisent sur les parties de la salle qu'ils doivent éclairer. Il suffit de faire construire trois petits réflecteurs respectivement semblables à ceux qui doivent éclairer le plafond, à ceux qui envoient leur lumière sur les premières galeries et à ceux qui la répandent sur les secondes loges. Il ne faudra de verres concaves que pour les deux derniers réflecteurs.

On pourra juger ainsi à peu près de l'intensité de la lumière, et s'assurer surtout si les rayons de l'astro-lampe ne glissent pas trop horizontalement sur le plafond et ne tombent pas sur les premières galeries dans une direction trop verticale. Ces deux dernières questions sont importantes, particulièrement la seconde. Si le plafond est éclairé trop obliquement, on ne jouira plus de l'éclat de ses dorures, et des ombres

N° XXVII[6]. allongées viendront accuser les ondulations de sa surface; si les figures des personnes placées aux premières galeries reçoivent la lumière dans une direction trop verticale, leurs yeux paraîtront plus caves, et leur nez plus saillant, en raison de l'étendue des ombres portées, ce qui les vieillira, inconvénient grave au jugement des dames.....

N° XXVII[7].

EXPÉRIENCE

SUR LA LAMPE DE M. LOCATELLI.

[16 avril 1827.]

M. Locatelli avait fait brûler, le matin, cette lampe devant moi, à peu près pendant une heure, en essayant successivement deux cheminées. Sa lumière nous avait paru aussi blanche que celle de ma lampe de Carcel, et d'un tiers plus forte.

J'ai rallumé cette lampe à 7 heures 25 minutes du soir, après l'avoir préalablement pesée avec soin; je l'ai éteinte à 9 heures 30 minutes, pour la peser de nouveau, et j'ai trouvé dans son poids une diminution de 120 grammes : ainsi elle a consommé 120 grammes d'huile en deux heures cinq minutes, ce qui fait un peu plus de 57 grammes d'huile par heure. Or ma lampe de Carcel ne brûle que 36 à 37 grammes par heure, lorsqu'on donne à sa flamme tout le développement qu'elle peut avoir sans rougir, ainsi que je l'ai fait dans cette expérience du soir, pour comparer de nouveau la lumière des deux lampes.

J'ai été gêné dans cette comparaison par la diminution graduelle des flammes de la lampe de M. Locatelli, et je ne puis donner qu'un résultat moyen, d'après lequel l'intensité de la lumière de celle-ci aurait été égale à une fois et un tiers celle de la lampe de Carcel, pendant la durée de la combustion qui a consommé 120 grammes d'huile. Pour

donner une idée de l'affaiblissement de la lumière de la lampe de M. Locatelli, je dirai que, à 9 heures 1/2, au moment où j'ai éteint cette lampe, sa lumière surpassait à peine celle de la lampe de Carcel. A 11 heures, les flammes de celle-là avaient considérablement baissé. Je me suis réveillé cette nuit à 2 heures 1/2, et j'ai profité de ce moment d'insomnie pour examiner la lampe de M. Locatelli : je l'ai trouvée presque éteinte. J'ai pensé d'abord que cela pouvait tenir au manque d'huile; mais j'en ai trouvé encore un peu dans la pompe ou réservoir mobile, et le bas du réservoir fixe en était suffisamment garni : ainsi l'extinction provenait de la carbonisation des mèches. N° XXVII[7].

J'ai dû conclure de cet essai que les mèches de M. Locatelli, telles qu'il a pu les fabriquer à Paris, sont inférieures, pour la durée, aux mèches ordinaires de coton.

En comparant avec beaucoup d'attention les couleurs des deux ombres portées d'un crayon, j'ai trouvé que celle qui était éclairée par la lampe de M. Locatelli était un tant soit peu rougeâtre, tandis que l'autre paraissait légèrement bleuâtre, par opposition : ainsi la lumière de cette lampe n'était pas tout à fait aussi blanche que celle de la lampe de Carcel.

Je viens de dire que l'intensité moyenne de celle-là avait été égale à une fois et un tiers celle de l'autre, pendant la combustion qui avait occasionné une consommation de 57 grammes par heure dans la lampe de M. Locatelli : or la consommation de ma lampe de Carcel étant au plus de 37 grammes par heure, si la dépense d'huile de l'autre lampe avait été simplement proportionnelle à l'intensité de sa lumière, elle aurait été égale à $37 + \frac{37}{3}$ grammes ou à 49 grammes $\frac{1}{3}$, c'est-à-dire à 50 grammes, en nombre rond. La lampe de M. Locatelli a donc consommé un peu plus d'huile, en proportion de la lumière produite, que la lampe de Carcel; ce qui s'accorde avec la teinte un peu plus rougeâtre de sa lumière.

Les bons quinquets à niveau constant ne sont pas inférieurs aux lampes de Carcel sous le rapport de l'emploi économique de l'huile, du moins pendant les premières heures de la combustion : ainsi la

N° XXVII[7]. lampe dont je viens de faire l'essai ne peut être comparée, à cet égard, dans son état actuel, qu'à un quinquet de médiocre qualité, et elle lui est même très-inférieure sous le rapport de la durée des mèches.

N° XXVII[8].

DEUXIÈME EXPÉRIENCE,

FAITE LE 8 MAI 1827,

POUR ESSAYER LES NOUVELLES MÈCHES DE M. LOCATELLI[(1)].

En me remettant sa lampe pour l'essayer de nouveau, M. Locatelli m'a prévenu qu'il en avait déjà tenu les mèches allumées pendant une demi-heure.

J'ai allumé cette lampe à 2 heures 5 minutes de l'après-midi, et j'ai jugé, d'après la hauteur des flammes, que l'intensité de la lumière devait être à peu près la même que dans l'expérience précédente, c'est-à-dire égale à une fois et un tiers celle de ma lampe de Carcel; c'est ce que je n'ai pas cru nécessaire de vérifier par une nouvelle mesure.

A 4 heures 1/2, c'est-à-dire environ deux heures et demie après le moment où j'avais allumé la lampe, les flammes avaient déjà baissé d'une manière très-sensible et s'étaient raccourcies généralement de 7 ou 8 millimètres.

A 6 heures 1/2, c'est-à-dire après cinq heures de combustion seulement, en y comprenant la demi-heure d'essai de M. Locatelli, les flammes avaient baissé de 2 centimètres, et l'une d'elles se trouvait

---

(1) Ces mèches, ayant la forme de petits prismes rectangulaires, se groupaient circulairement sur un même bec à double courant d'air, de manière à présenter, dans leur ensemble, plus de surface qu'une mèche cylindrique de même diamètre extérieur.

réduite à 1 centimètre de hauteur, compté de dessus la mèche, après avoir eu primitivement 4 centimètres 1/2. N° XXVII[1].

A 7 heures 25 minutes, c'est-à-dire après cinq heures cinquante minutes de combustion totale, j'ai mesuré l'intensité de la lumière de la lampe de M. Locatelli, en la comparant à celle de ma lampe de Carcel, et je l'ai trouvée réduite au quart de celle-ci, ou au cinquième de son intensité primitive.

A 8 heures, une flamme était presque éteinte, et une autre très-basse.

A 10 heures, il n'y avait encore aucune flamme entièrement éteinte; mais elles étaient toutes très-courtes et ne jetaient plus qu'une faible clarté; les mèches étaient rouges et fortement charbonnées.

Il résulte de cette expérience sur les nouvelles mèches de M. Locatelli qu'elles ne valent pas encore celles des quinquets ordinaires, puisque, après six heures de combustion seulement, la lumière de sa lampe se trouvait déjà réduite au cinquième de son intensité primitive.

Paris, le 10 mai 1827.

A. FRESNEL.

N° XXVII[2].

TROISIÈME EXPÉRIENCE,

FAITE LE 11 MAI 1827.

M. Locatelli, surpris du mauvais succès de la dernière expérience, m'a apporté une nouvelle lampe, qu'il m'a prié d'essayer. Le résultat de ce nouvel essai a été bien différent de ceux des deux expériences précédentes : l'intensité de la lumière est restée à peu près constante pendant huit heures de combustion, au bout desquelles les flammes

N° XXVII[e]. ne montraient pas encore de propension bien sensible à s'affaiblir. Il s'était seulement formé un champignon sur une des mèches.

J'ai allumé la lampe de M. Locatelli à 1 heure 25 minutes, et j'ai mesuré l'intensité de sa lumière, d'abord à 2 heures 40 minutes, moment où elle devait avoir encore tout son éclat primitif; ensuite à 6 heures 10 minutes, à 8 heures 25 minutes et à 9 heures 25 minutes, en la comparant à un quinquet que j'avais soin d'éteindre après chaque observation, pour n'en point fatiguer la mèche, et à la flamme duquel je tâchais de rendre chaque fois le même développement[1]. Je ne puis pas répondre que cette unité de lumière soit restée parfaitement constante, mais j'estime que ses variations n'ont pas dû excéder un dixième ou un huitième. Or la comparaison faite à 9 heures 25 minutes n'indiquait pas encore un affaiblissement d'un dixième dans la clarté de la lampe de M. Locatelli : ainsi l'on peut dire qu'elle a conservé sensiblement la même intensité pendant huit heures de combustion.

Cette expérience établirait incontestablement la supériorité des lampes de M. Locatelli sur les quinquets ordinaires, sans une circonstance qui l'empêche d'être décisive. Le niveau d'écoulement du réservoir d'huile se trouvait trop haut (probablement par une méprise du ferblantier), en sorte que l'huile dégorgeait par le bec et avec assez d'abondance. De cette manière, la lampe de M. Locatelli participait aux avantages d'une lampe de Carcel, et l'on peut supposer que la surabondance de l'huile a contribué, dans cette expérience, à la conservation des mèches. Or, dans les lampes destinées à éclairer les salles de spectacle, on est obligé de tenir le niveau d'écoulement plus bas, afin de ne pas répandre d'huile : ainsi, la lampe que j'ai essayée en dernier lieu, ne satisfaisant pas à cette condition, ne pouvait pas encore servir à décider complétement la question. J'ai offert à M. Locatelli de répéter l'expérience avec une autre lampe; mais il m'a répondu qu'il n'avait plus de mèches, et a paru désirer que ce dernier essai fût renvoyé au

[1] J'aurais préféré me servir de ma lampe de Carcel, mais elle n'était pas en état dans ce moment.

moment où il serait en mesure de présenter des appareils plus parfaits[a]. N° XXVII⁹.

Paris, le 11 mai 1827.

A. FRESNEL.

LETTRE D'ENVOI À M. LE COMTE TURPIN DE CRISSÉ,

INSPECTEUR GÉNÉRAL AU DÉPARTEMENT DES BEAUX-ARTS.

Paris, le 12 mai 1827.

Monsieur le Comte,

J'ai l'honneur de vous adresser le procès-verbal d'une troisième expérience que je viens de faire, à la demande de M. Locatelli. Le résultat est beaucoup plus favorable à sa lampe que celui des deux essais précédents, sans être encore entièrement décisif, par une circonstance qui ne permet pas de tirer des conséquences certaines de la nouvelle expérience. Je dois convenir néanmoins qu'elle m'a donné une bien meilleure opinion de la durée des mèches de M. Locatelli.

Je suis, etc.

A. FRESNEL.

N° XXVII[10].

LE VICOMTE DE LA ROCHEFOUCAULD À AUGUSTIN FRESNEL.

Paris, le 14 juin 1827.

Monsieur, le Président de la Commission dont vous avez bien voulu faire partie, et qui a été chargée d'examiner les plans et projets de M. Locatelli, concernant le nouveau système d'éclairage pour nos salles de spectacle qu'a présenté cet ingénieur, m'a adressé le résumé de l'opinion de chacun des membres de cette Commission.

Il résulte de ce rapport que les suffrages se sont unanimement réunis pour reconnaître les avantages des nouveaux réflecteurs; et, dès lors, je n'ai pas hésité à en autoriser l'adoption pour les théâtres placés sous la direction du Département des Beaux-Arts.

[a] Cette expérience est la *dernière* à laquelle Augustin Fresnel ait pu concourir. Il se retira peu après à Ville-d'Avray, où il s'éteignit le 14 juillet 1827.

N° XXVII[10]. La plupart des membres ayant également reconnu, après diverses observations faites avec soin, que les mèches de l'invention de M. Locatelli donnaient une clarté constamment égale et transparente durant plus de huit heures; quelques-uns même ayant fait brûler ces mêmes mèches pendant quatorze heures, en observant une clarté toujours satisfaisante, j'ai pensé que les légères différences qui peuvent exister dans l'énoncé des diverses opinions émises sur cette question provenaient des accidents que devaient offrir des appareils qui n'ont pu encore être faits avec l'exactitude et la précision que leur auteur croit indispensable de leur donner, lorsqu'ils seront destinés à un usage habituel.

En outre, la somme des opinions étant très-favorable aux lampes et aux becs auxquels s'adaptent ces mèches, leur simplicité ayant été presque unanimement reconnue propre à les rendre d'un service beaucoup plus facile que les lampes et quinquets actuellement employés, j'ai également autorisé l'adoption de ce nouveau système d'éclairage.

Je vous remercie beaucoup des soins constants que vous avez mis à surveiller les opérations auxquelles, jusqu'à ce jour, ce nouveau système d'éclairage a donné lieu.

Vos observations sur l'astro-lampe ont fixé mon attention, et le nouveau moyen que vous voulez bien indiquer pour l'éclairage de la salle me paraît fort ingénieux; mais les dispositions de localités semblent rendre difficile l'introduction de ce système. Cependant il sera bon de ne pas perdre de vue un projet conçu dans un véritable but d'utilité.

Malgré l'opinion encore incertaine des membres de la Commission sur les effets de l'astro-lampe, un capitaliste se présentant pour faire établir cet appareil à ses risques et périls, moyennant des arrangements qui ne peuvent compromettre les intérêts de l'Administration, et qui n'entraîneraient à aucune dépense si les résultats de ce nouvel éclairage étaient autres que ceux promis par son inventeur, j'ai cru pouvoir autoriser l'essai de ce nouveau moyen, qui offrira toujours un attrait à la curiosité [*].

Recevez, Monsieur, la nouvelle assurance de ma considération distinguée.

L'aide de camp du Roi, chargé du Département des Beaux-Arts,

Vte DE LA ROCHEFOUCAULD.

---

[*] Nous ignorons quelle suite fut donnée à cette décision.

APPENDICE.

ÉLOGE HISTORIQUE D'AUGUSTIN FRESNEL,

PAR FRANÇOIS ARAGO.

APPENDICE.

ÉLOGE HISTORIQUE D'AUGUSTIN FRESNEL,

LU EN SÉANCE PUBLIQUE DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES, LE 26 JUILLET 1830.

PAR FRANÇOIS ARAGO[*].

Messieurs, «il est des hommes à qui l'on succède et que personne ne remplace.» Ces paroles d'un des plus honorables écrivains de notre temps, si souvent reproduites comme la formule convenue d'une modestie de circonstance, sont aujourd'hui dans ma bouche l'expression fidèle de ce que j'éprouve. Comment pourrais-je, en effet, sans la plus vive émotion, venir occuper à cette tribune une place qu'a si dignement remplie, pendant huit années, le géomètre illustre dont la mort inattendue ne laisse pas moins de regrets à l'amitié qu'aux sciences et aux lettres?

Cet aveu sincère de ma juste défiance, ce n'est pas ici, Messieurs, qu'on l'entend pour la première fois. Presque tous les membres de l'Académie ont été tour à tour les confidents de mes scrupules, et leur encourageante bien-

[*] Cet Éloge historique figure en tête des *Œuvres complètes de François Arago*, éditées par MM. Gide et Baudry, sous la direction de M. Barral, et a reçu ainsi une telle publicité que nous pouvions hésiter à le reproduire. Nous avons dû considérer toutefois que c'était, à plus d'un titre, le couronnement, en quelque sorte obligé, du monument élevé à la mémoire d'Augustin Fresnel, et que, indépendamment des motifs de haute convenance, l'analyse et la discussion magistrale de l'ensemble de ses travaux scientifiques par son illustre ami et collaborateur formaient un appendice essentiel à notre publication. Nous avions d'ailleurs à acquitter l'engagement pris par les éditeurs relativement à une notice biographique sur notre auteur; or l'esquisse si vivement tracée par Arago, et où nous n'avons eu à relever que quelques légères inexactitudes, nous a paru pleinement répondre à ce dernier article de notre programme.

veillance est à peine parvenue à les surmonter. Voué depuis longtemps à des recherches purement scientifiques, tout à fait dépourvu des titres littéraires qui, jusqu'à ce moment, avaient paru indispensables dans les difficiles fonctions qu'on m'a confiées, je ne pouvais avoir aux yeux de l'Académie que le facile mérite d'un zèle soutenu, d'un dévouement sans bornes à ses intérêts, et du désir ardent, qu'en toute occasion j'ai manifesté, de voir la renommée qu'elle s'est acquise grandir, si c'est possible, et s'étendre en tout lieu. Le vide que M. Fourier laisse parmi nous, je l'ai reconnu le premier, je l'ai reconnu sans réserve, se fera surtout sentir dans ces réunions solennelles; c'est alors que vous vous rappellerez ce langage dans lequel la plus rigoureuse précision s'alliait si heureusement à l'élégance et à la grâce. Aussi j'ai dû me persuader que l'indulgence de l'Académie me présageait en quelque sorte celle dont le public daignerait m'honorer; autrement aurais-je osé faire entendre ici une voix inexpérimentée après l'éloquent interprète que nous venons de perdre, à côté de celui que nous avons le bonheur de posséder?

Cet Éloge, au reste, je me hâte de le déclarer, s'écarte de la forme ordinaire. Je demanderai même qu'on veuille bien le considérer comme un simple mémoire scientifique, dans lequel, à l'occasion des travaux de notre confrère, j'examine les progrès que plusieurs des branches les plus importantes de l'optique ont faits de nos jours. A une époque où les cours du Collége de France, de la Faculté de Paris, du Jardin du roi, attirent une si grande affluence d'auditeurs, il m'a semblé que l'Académie des sciences pourrait elle-même entretenir directement le public, ami de nos études, qui veut bien assister à ces réunions, de quelques-unes des questions variées dont elle s'occupe spécialement. Toutefois, c'est ici de ma part un simple essai, sur lequel on voudra bien m'éclairer; la critique me trouvera docile. J'espère cependant que la satisfaction de se voir initié en peu d'instants aux plus curieuses découvertes de notre siècle pourra paraître une compensation suffisante de l'inévitable fatigue qu'amèneront tant de minutieux détails.

De mon côté, l'indulgence sur laquelle je compte ne me dispensera pas de faire tous mes efforts pour tâcher d'être clair. Fontenelle, dans une occasion semblable, demandait à son auditoire (je cite ses propres expressions) « la « même application qu'il faut donner au roman de la Princesse de Clèves, si « on veut en suivre bien l'intrigue et en connaître toute la beauté. » Je n'aurais pas le droit, je le sais, d'être aussi peu exigeant; mais j'ai, d'une autre part,

l'avantage de parler devant une assemblée familiarisée avec des études sérieuses, et dont on peut réclamer avec confiance une attention que Fontenelle lui-même, au commencement du XVIIIe siècle, aurait difficilement obtenue de la société frivole à laquelle il s'adressait.

ENFANCE DE FRESNEL. — SON ENTRÉE À L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE ET DANS LE CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES. — SA DESTITUTION POUR AVOIR ÉTÉ REJOINDRE L'ARMÉE ROYALE À LA PALUD.

Augustin-Jean Fresnel naquit le 10 mai 1788, à Broglie, près de Bernay, dans cette partie de l'ancienne province de Normandie qui forme aujourd'hui le département de l'Eure. Son père était architecte, et, en cette qualité, le génie militaire lui avait confié la construction du fort de Querqueville, à l'une des extrémités de la rade de Cherbourg. Mais la tourmente révolutionnaire l'ayant forcé d'abandonner ces travaux, il se retira avec toute sa famille dans une modeste propriété qu'il possédait près de Caen, à Mathieu, petit village qui déjà n'était pas sans quelque illustration, puisque c'est la patrie du poëte Jean Marot, père du célèbre Clément. Mme Fresnel, dont le nom de famille (Mérimée) devait aussi un jour devenir cher aux arts et aux lettres, était douée des plus heureuses qualités du cœur et de l'esprit; l'instruction solide et variée qu'elle avait reçue dans sa jeunesse lui permit de s'associer activement, pendant huit années consécutives, aux efforts que faisait son mari pour l'éducation de leurs quatre enfants. Les progrès du fils aîné [a] furent brillants et rapides. Augustin, au contraire, avançait dans ses études avec une extrême lenteur : à huit ans [b], il savait à peine lire. On pourrait attribuer ce manque de succès à la complexion très-délicate du jeune écolier et aux ménagements qu'elle prescrivait; mais on le comprendra mieux encore, quand on saura que Fresnel n'eut jamais aucun goût pour l'étude des langues; qu'il fit toujours

[a] Louis-Jacques Fresnel. — A trois ans et demi, il lisait à son père le *Moniteur universel.* A quatorze ans, il étudiait le grec sans maître.

[b] Lisez «cinq ou six ans.» — Cette inexactitude, que nous relevons d'après des dates certaines, aura pu résulter de la précipitation avec laquelle il nous avait fallu recueillir les notes qui nous furent tardivement demandées pour la partie biographique du présent discours.

très-peu de cas des exercices qui s'adressent seulement à la mémoire; que la sienne, d'ailleurs, assez rebelle en général, se refusait presque absolument à retenir des mots, dès qu'ils ne se rattachaient pas à une argumentation claire et ourdie fortement [*]. Aussi, je dois l'avouer sans détour, ceux dont toutes les prévisions concernant l'avenir d'un enfant se fondent sur le recensement complet des premières places qu'il a obtenues, au collége, en thème ou en version, n'auraient jamais imaginé qu'Augustin Fresnel deviendrait un des savants les plus distingués de notre époque. Quant à ses jeunes camarades, ils l'avaient au contraire jugé avec cette sagacité qui les trompe rarement : ils l'appelaient l'homme de génie. Ce titre pompeux lui fut unanimement décerné à l'occasion de recherches expérimentales (on me passera cette expression, elle n'est que juste) auxquelles il se livra, à l'âge de neuf ans, soit pour fixer les rapports de longueur et de calibre qui donnent la plus forte portée aux petites canonnières de sureau dont les enfants se servent dans leurs jeux, soit pour déterminer quels sont les bois verts ou secs qu'il convient d'employer dans la fabrication des arcs, sous le double rapport de l'élasticité et de la durée. Le physicien de neuf ans avait exécuté en effet ce petit travail avec tant de succès, que des hochets jusque-là fort inoffensifs étaient devenus des armes dangereuses, qu'il eut l'honneur de voir proscrire par une délibération expresse des parents assemblés de tous les combattants.

En 1801, Fresnel, âgé de treize ans, quitta le foyer paternel, et se rendit à Caen avec son frère aîné. L'école centrale de cette ville, où l'instruction a toujours été en honneur, présentait alors une réunion de professeurs du plus rare mérite. Les excellentes leçons de mathématiques de M. Quesnot, le cours de grammaire générale et de logique de l'abbé de la Rivière, contribuèrent éminemment à développer chez le jeune élève cette sagacité, cette rectitude d'esprit, qui plus tard l'ont guidé avec tant de bonheur dans le dédale en apparence inextricable des phénomènes naturels qu'il est parvenu à débrouiller. La communication du savoir est, de tous les bienfaits que nous recevons dans notre

---

[*] Ceci ne doit s'entendre que de la *linguistique*, dans le sens le plus étroit du mot, car A. Fresnel manifesta de bonne heure et conserva toujours un vif sentiment des beautés littéraires. Il attachait d'ailleurs une importance toute spéciale à ce que l'on pourrait appeler la logique du style, et le sien, sous ce rapport, était souvent cité comme modèle par un juge des plus compétents et des plus sévères, notre si regrettable collaborateur Émile Verdet.

jeunesse, celui dont un cœur bien né conserve le plus profond souvenir. Aussi la reconnaissance qu'avait vouée Fresnel à ses dignes professeurs de Caen fut-elle constamment vive et respectueuse. Les écoles centrales elles-mêmes eurent toujours une large part dans son souvenir, et j'ai quelques raisons de croire qu'on aurait trouvé diverses réminiscences de ces anciennes institutions dans un plan d'études qu'il voulait publier.

Fresnel entra, à seize ans et demi, à l'École polytechnique, où son frère aîné l'avait précédé d'une année. Sa santé était alors extrêmement faible et faisait craindre qu'il ne pût pas supporter les fatigues d'un aussi rude noviciat. Mais ce corps débile renfermait l'âme la plus vigoureuse; et, en toutes choses, la ferme volonté de réussir est déjà la moitié du succès; d'ailleurs la dextérité de Fresnel pour les arts graphiques était presque sans égale, et, sous ce rapport, il pouvait marcher de pair avec les plus habiles de ses camarades, tout en s'imposant un travail journalier beaucoup moins long. Lorsque Fresnel suivait les cours de l'École polytechnique, un savant dont l'âge n'a pas refroidi le zèle, que l'Académie des sciences a le bonheur de compter parmi ses membres les plus actifs, les plus assidus, et qu'il me faudra désigner, puisqu'il m'entend, par le seul titre de doyen des géomètres vivants, remplissait les fonctions d'examinateur. Dans le courant de l'année 1804, il proposa aux élèves, comme sujet de concours, une question de géométrie. Plusieurs la résolurent; mais la solution de Fresnel fixa particulièrement l'attention de notre confrère [*]; car les hommes supérieurs jouissent de l'heureux privilége de découvrir, même sur de légers indices, les talents qui doivent jeter un grand éclat. M. Legendre, son nom m'échappe, complimenta publiquement le jeune lauréat. Des témoignages d'encouragement partant de si haut mirent Fresnel, peut-être pour la première fois, dans le secret de son propre mérite, et vainquirent une défiance outrée, qui, chez lui, produisait les plus fâcheux résultats, puisqu'elle l'empêchait de tenter des routes nouvelles.

En sortant de l'École polytechnique, Fresnel passa dans celle des ponts et chaussées. Lorsqu'il eut obtenu le titre d'ingénieur ordinaire, il fut envoyé dans le département de la Vendée, où le gouvernement cherchait à effacer les traces de nos déplorables discordes civiles, relevait tout ce que la guerre avait renversé, ouvrait des communications destinées à vivifier le pays, et

---

[*] Voyez t. II, N° LIII, p. 681.

posait les fondements d'une ville nouvelle. Tout élève, quelque carrière qu'il veuille embrasser, attend avec la plus vive impatience l'instant où il pourra déposer ce titre. Pour lui, en vingt-quatre heures, le monde alors change complétement d'aspect : il recevait des leçons, il va créer. Son avenir semble d'ailleurs lui promettre tout ce qu'un siècle a offert d'événements brillants à quelques rares individus, favorisés du sort.

Peu d'ingénieurs, par exemple, reçoivent leurs diplômes sans se croire, dès ce moment, appelés, soit (nouveaux Riquet) à joindre l'Océan à la Méditerranée par un grand canal qui conduira les navires du commerce jusqu'au centre du royaume; soit à tracer sur la croupe des Alpes la route sinueuse et hardie dont la sommité se perd dans la région des frimas éternels, et que le voyageur cependant peut affronter sans crainte, même au cœur de l'hiver. Celui-ci a conçu l'espoir d'orner la capitale d'un de ces ponts légers, et toutefois inébranlables, où le hardi ciseau d'un David [a] viendra quelque jour animer le marbre; l'autre, renouvelant les gigantesques travaux de Cherbourg, arrête les tempêtes à l'entrée de certaines rades, prépare d'utiles refuges aux navires de commerce, s'associe enfin à la gloire des escadres nationales, en leur fournissant de nouveaux moyens d'attaque et de défense. Les moins ambitieux ont songé à redresser le cours des principaux fleuves, à rendre, par des barrages, leurs eaux moins rapides et plus profondes, à arrêter ces montagnes mouvantes qui, sous le nom de dunes, envahissent graduellement de riches contrées et les transforment en stériles déserts.

Je n'oserais pas affirmer que, malgré l'extrême modération de ses désirs, Fresnel échappa tout à fait à ces heureux rêves du jeune âge. En tout cas, le réveil ne se fit pas attendre : niveler de petites portions de route, chercher, dans la contrée placée dans sa circonscription, des bancs de cailloux, présider à l'extraction de ces matériaux, veiller à leur placement sur la chaussée ou dans les ornières, exécuter çà et là un ponceau sur des canaux d'irrigation, rétablir quelques mètres de digue que le torrent a emportés dans sa crue, exercer principalement sur les entrepreneurs une surveillance active, vérifier

---

[a] David, dix-huit ans après la lecture de ce discours, exécutait sous nos yeux, pour la ville de Caen, le buste de notre auteur. Malheureusement, l'éminent artiste n'avait pas connu Augustin, et l'image, modelée d'après une assez médiocre gravure, est à peine reconnaissable.

leurs états de compte, toiser scrupuleusement leurs ouvrages : telles étaient les fonctions fort utiles, mais très-peu relevées, très-peu scientifiques, que Fresnel eut à remplir, pendant huit à neuf années, dans la Vendée, dans la Drôme, dans Ille-et-Vilaine. Combien un esprit de cette portée ne devait-il pas être péniblement affecté, quand il comparait l'usage qu'il aurait pu faire de ces heures qui passent si vite avec la manière dont il les dépensait! Mais, chez Fresnel, l'homme consciencieux marchait toujours en première ligne; aussi s'acquitta-t-il constamment de ses devoirs d'ingénieur avec le plus rigoureux scrupule. La mission de défendre les deniers de l'État, d'en obtenir le meilleur emploi possible, se présentait à ses yeux comme une question d'honneur. Le fonctionnaire, quel que fût son rang, qui lui soumettait un compte louche devenait à l'instant l'objet de son profond mépris. Fresnel ne comprenait pas les ménagements auxquels des personnes, d'ailleurs très-estimables, se croient quelquefois tenues par esprit de corps. Toute confraternité cessait pour lui, malgré les similitudes de titres et d'uniformes, dès qu'on n'avait pas une probité à l'abri du soupçon. Dans ces circonstances, la douceur habituelle de ses manières disparaissait, pour faire place à une roideur, je dirai même, à une âpreté, qui, dans ce siècle de concessions, lui attira de nombreux désagréments.

Les opinions purement spéculatives d'un homme de cabinet concernant l'organisation politique de la société doivent en général trop peu intéresser le public pour qu'il soit nécessaire d'en faire mention; mais l'influence qu'elles ont exercée sur la carrière de Fresnel ne me permet pas de les taire.

Fresnel, comme tant de bons esprits, s'associa vivement en 1814 aux espérances que le retour de la famille des Bourbons faisait naître. La charte de 1814, exécutée sans arrière-pensée, lui paraissait renfermer tous les germes d'une sage liberté. Il y voyait l'aurore d'une régénération politique qui devait, sans secousses, s'étendre de la France à toute l'Europe. Son cœur de citoyen s'émouvait en songeant que notre beau pays allait exercer cette pacifique influence sur le bonheur des peuples. Si, pendant le régime impérial, les grandes journées d'Austerlitz, d'Iena, de Friedland n'avaient pas fortement excité son imagination, c'est seulement parce qu'elles lui semblaient destinées à perpétuer le despotisme sous lequel la France se trouvait alors courbée. Le débarquement de Cannes, en 1815, lui parut une attaque contre la civilisation: aussi, sans être arrêté par le délabrement de sa santé, s'empressa-t-il d'aller rejoindre l'un des détachements de l'armée royale du Midi. Fresnel s'était flatté

de n'y trouver que des hommes de sa trempe, si j'en juge par l'impression pénible qu'il éprouva dès sa première entrevue avec le général sous les ordres duquel il allait se placer. Touché de l'air maladif de son nouveau soldat, le chef lui témoigne combien il est surpris qu'il veuille, dans un tel état, s'exposer aux fatigues et aux dangers d'une guerre civile. « Vos supérieurs, Monsieur, « lui dit-il, vous ont peut-être commandé cette démarche? — Non, général, je « n'ai pris conseil que de moi. — Je vous en prie, parlez-moi sans détour : « vous a-t-on menacé de ne pas payer vos appointements[a]? — Aucune me- « nace semblable ne m'a été faite; mes appointements étaient régulièrement « payés. — Fort bien; mais je dois, entre nous, vous prévenir qu'il ne faut « guère compter ici que sur le casuel. — J'ai compté sur mes seules ressources: « je n'espère et ne désire aucune récompense : je me présente à vous pour « remplir un devoir. — A merveille, Monsieur; c'est ainsi que tout bon ser- « viteur de la cause royale doit penser et agir; je partage vos honorables sen- « timents; comptez sur ma bienveillance. » Cette bienveillance, en effet, ne se démentit point, et les questions qui d'abord avaient blessé Fresnel montraient seulement que son interlocuteur, moins novice dans les affaires de ce bas monde, savait par expérience qu'un rassemblement populaire, de quelque couleur qu'il se pare, renferme plus d'un individu dont le dévouement, sous des apparences trompeuses, cache des intérêts personnels.

Fresnel rentra à Nyons, sa résidence habituelle, presque mourant. La nouvelle des événements de la Palud l'y avait précédé; la populace, on sait ce que signifie ce terme dans les départements du Midi, lui prodigua mille outrages. Peu de jours après, un commissaire impérial vint prononcer sa destitution et le placer sous la surveillance de la haute police. Loin de moi la pensée d'atténuer ce qu'une semblable mesure avait d'odieux. Je dois dire cependant qu'elle fut exécutée sans trop de rigueur; que Fresnel obtint la permission de passer par Paris; qu'il y séjourna sans être inquiété; qu'il y put renouer connaissance avec d'anciens condisciples et se préparer ainsi aux recherches scientifiques dont il comptait s'occuper dans la retraite où ses jeunes années s'étaient écoulées. A cette époque, Fresnel avait à peine une idée con-

---

[a] Il y a quelque inexactitude dans ce récit : l'étrange question relative aux *appointements* fut adressée à Augustin Fresnel en aparté, non par le général, mais par un jeune officier de son état-major.

fuse des brillantes découvertes qui, dans les premières années de ce siècle, changèrent totalement la face de l'optique.

PREMIERS MÉMOIRES DE FRESNEL.

Le premier mémoire de science que Fresnel ait rédigé remonte à cette même année 1814. C'était un essai destiné à rectifier l'explication fort imparfaite du phénomène de l'aberration annuelle des étoiles, qui généralement est suivie dans les ouvrages élémentaires. La géométrie et la physique pouvaient également avouer la nouvelle démonstration; mais, malheureusement, elle ressemblait beaucoup à celle de Bradley lui-même et de Clairaut. Je dis malheureusement; car, si l'on croyait que de telles rencontres satisfont l'amour-propre d'un débutant et stimulent son zèle, on se ferait étrangement illusion. Et d'ailleurs, un auteur supporterait avec philosophie, je veux bien l'admettre, le déplaisir d'avoir inutilement usé ses forces pendant des années entières à la recherche d'une vérité déjà aperçue auparavant; il renoncerait de la meilleure grâce à la flatteuse espérance de voir son nom attaché à quelque brillante découverte; mais ne doit-il pas être vivement inquiet, quand il peut craindre que, pour avoir ignoré l'existence de tel ouvrage, auquel personne ne songeait, il sera peut-être traité de plagiaire; quand il peut craindre qu'une vie sans tache ne soit pas une sauvegarde suffisante contre de telles imputations? Le public, nonobstant les dénégations les plus expresses, suppose presque toujours qu'un auteur a connu tout ce qu'il a pu connaître, et le droit dont il est investi de traiter avec une sévérité implacable ceux qui sciemment se sont emparés des travaux de leurs prédécesseurs est l'origine de plus d'une injustice. Aussi Lagrange racontait-il que, dans sa jeunesse, il éprouva un si profond chagrin en trouvant par hasard, dans les Œuvres de Leibnitz, une formule analytique dont il avait parlé à l'Académie de Turin, comme d'une découverte à lui, qu'il s'évanouit complétement. Peu s'en fallut même que, dès ce jour, il ne renonçât tout à fait aux études mathématiques. La démonstration de l'aberration était trop peu importante pour inspirer à Fresnel un pareil découragement; d'ailleurs il ne l'avait point imprimée; toutefois cette circonstance le rendit extrêmement timide, et depuis il ne publia jamais de mémoire sans s'être assuré, par le témoignage d'un de ses amis, à qui les collections académiques étaient plus familières, qu'il n'avait pas, suivant un

dicton populaire devenu chez lui une formule habituelle, *enfoncé des portes ouvertes*.

Les premières recherches expérimentales de Fresnel ne datent que du commencement de 1815; mais, à partir de cette époque, les mémoires succédèrent aux mémoires, les découvertes aux découvertes, avec une rapidité dont l'histoire des sciences offre peu d'exemples. Le 28 décembre 1814, Fresnel écrivait de Nyons : «Je ne sais ce qu'on entend par *polarisation de la lumière;* «priez M. Mérimée, mon oncle, de m'envoyer les ouvrages dans lesquels je «pourrai l'apprendre.» Huit mois s'étaient à peine écoulés, et déjà d'ingénieux travaux l'avaient placé parmi les plus célèbres physiciens de notre époque. En 1819, il remportait un prix proposé par l'Académie sur la question si difficile de la diffraction. En 1823, il devenait l'un des membres de cette compagnie, à l'unanimité des suffrages, genre de succès fort rare, car il ne suppose pas seulement un mérite du premier ordre, mais encore, de la part de tous les compétiteurs, un aveu d'infériorité bien franc, bien explicite. En 1825, la Société royale de Londres admettait notre confrère au nombre de ses associés. Enfin, deux ans plus tard, elle lui décernait la médaille fondée par le comte de Rumford. Cet hommage d'une des plus illustres académies de l'Europe, ce jugement prononcé, chez une nation rivale, par les compatriotes les plus éclairés de Newton, en faveur d'un physicien qui n'attachait guère de prix à ses découvertes qu'autant qu'elles ébranlaient un système dont ce puissant génie s'était fait le défenseur, me semble avoir tous les caractères d'un arrêt de la postérité. J'espère donc qu'il me serait permis de l'invoquer, si, malgré tout mon désir de rester dans les strictes bornes de la vérité, et la conviction que j'ai de ne pas les avoir franchies, il arrivait par hasard qu'on trouvât cet éloge empreint d'une légère exagération. Ce serait là, au reste, je dois l'avouer, un reproche que je ressentirais faiblement, comme ami de Fresnel. S'il m'importe de le repousser, c'est seulement en qualité d'organe de l'Académie : le ministère que je remplis aujourd'hui, au nom de mes confrères, doit être exact et sévère, comme sont rigoureuses et exactes les sciences dont ils s'occupent.

RÉFRACTION.

Les travaux de Fresnel sont presque tous relatifs à l'optique. Afin d'éviter des répétitions fatigantes, je les classerai, sans égard pour l'ordre des dates,

de manière à réunir dans un seul groupe tous ceux qui se rapportent à des questions analogues. Les phénomènes de la réfraction m'occuperont les premiers.

Un bâton dont une partie plonge dans l'eau paraît brisé; les rayons qui nous font voir la portion immergée doivent donc avoir changé de route, ou s'être brisés eux-mêmes, en passant de l'eau dans l'air. Naguère on réduisait à cette remarque les connaissances des anciens sur le phénomène de la réfraction. Mais en exhumant de la poussière des bibliothèques, où tant de trésors sont encore enfouis, un manuscrit de l'Optique de Ptolémée, on a trouvé que l'école d'Alexandrie ne s'était pas bornée à constater le fait de la réfraction, car cet ouvrage renferme, pour toutes les incidences, des déterminations numériques passablement exactes de la déviation des rayons, soit quand ils passent de l'air dans l'eau ou dans le verre, soit lorsqu'ils n'entrent dans le verre qu'en sortant de l'eau.

Quant à la loi mathématique de ces déviations, que l'Arabe Alhasen, que le Polonais Vitellio, que Kepler et d'autres physiciens avaient inutilement cherchée, c'est à Descartes qu'on la doit. Je dis Descartes, et Descartes seulement; car, si les réclamations tardives d'Huyghens en faveur de son compatriote Snellius étaient accueillies, il faudrait renoncer à jamais écrire l'histoire des sciences.

Une loi mathématique a plus d'importance qu'une découverte ordinaire, car elle est elle-même une source de découvertes. De simples transformations analytiques signalent alors aux observateurs une foule de résultats plus ou moins cachés, dont ils se seraient difficilement avisés; mais ces résultats ne peuvent être accueillis sans réserve, tant que la vérité de la loi primordiale repose uniquement sur des mesures. Il importe pour la science que, en remontant aux principes de la matière, cette loi reçoive le caractère de rigueur que les expériences les plus précises ne sauraient lui donner.

Descartes essaya donc d'établir sa loi de la réfraction par des considérations purement mathématiques; peut-être même est-ce ainsi qu'il la trouva. Fermat combattit la démonstration de son rival, la remplaça par une méthode plus rigoureuse, mais qui avait le grave inconvénient de s'appuyer sur un principe métaphysique dont rien ne montrait la nécessité. Huyghens arriva au résultat en partant des idées qu'il avait adoptées sur la nature de la lumière; Newton enfin, car cette loi a occupé les plus grands géomètres du XVIIe siècle, la déduisit du principe de l'attraction.

La question était parvenue à ce terme, lorsqu'un voyageur revenant de l'Islande apporta à Copenhague de beaux cristaux qu'il avait recueillis dans la baie de Roërford. Leur grande épaisseur, leur remarquable diaphanéité, les rendaient très-propres à des expériences de réfraction. Bartholin, à qui on les avait remis, s'empressa de les soumettre à divers essais; mais quel ne fut pas son étonnement lorsqu'il aperçut que la lumière s'y partageait en deux faisceaux distincts, d'intensités précisément égales; lorsqu'il eut reconnu, en un mot, que, à travers ces cristaux d'Islande, qu'on a trouvés depuis dans une multitude de localités, car ils ne sont que du carbonate de chaux, tous les objets se voient doubles! La théorie de la réfraction, tant de fois remaniée, avait donc besoin d'un nouvel examen; tout au moins elle était incomplète, puisqu'elle ne parlait que d'un rayon et qu'on en voyait deux. D'ailleurs le sens et la valeur de l'écartement de ces deux rayons changeaient en apparence de la manière la plus capricieuse, quand on passait d'une face de cristal à l'autre, ou lorsque sur une face donnée la direction du rayon incident variait. Huyghens surmonta toutes ces difficultés; une loi générale se trouva comprendre dans son énoncé les moindres détails du phénomène; mais cette loi, malgré sa simplicité, malgré son élégance, fut méconnue. Les hypothèses avaient été pendant tant de siècles des guides inutiles ou infidèles; on les avait si longtemps considérées comme toute la physique, que, à l'époque dont je parle, les expérimentateurs en étaient venus sur ce point à une sorte de réaction; or dans les réactions, même en matière de science, il est rare qu'on garde un juste milieu. Huyghens donne sa loi comme le fruit d'une hypothèse, on la rejette sans examen; les mesures dont il l'étaye ne rachètent pas tout ce qu'on trouve de vicieux dans son origine. Newton lui-même se range parmi les opposants, et, dès ce moment, les progrès de l'optique sont arrêtés pour plus d'un siècle. Depuis, il n'a fallu rien moins que les nombreuses expériences de deux des membres les plus célèbres de cette Académie, MM. Wollaston et Malus, pour replacer la loi d'Huyghens au rang qui lui appartient.

Pendant les longs débats des physiciens sur la loi mathématique d'après laquelle la double réfraction s'opère dans le cristal d'Islande, l'existence du second faisceau étant généralement considérée comme une anomalie qui n'atteignait que la moitié de la lumière incidente, l'autre moitié, au moins, disait-on, obéit à l'ancienne loi de la réfraction donnée par Descartes; le carbonate de chaux, en tant que cristal, jouit ainsi de certaines propriétés particulières,

mais sans avoir perdu celles dont tous les corps diaphanes ordinaires sont doués. Tout cela était exact dans le cristal d'Islande; tout cela paraissait, sans trop de hardiesse, pouvoir être généralisé. Eh bien, on se trompait. Il existe des cristaux où le principe de la réfraction ordinaire ne se vérifie pas, où les deux faisceaux en lesquels la lumière incidente se partage éprouvent l'un et l'autre des réfractions anomales, où la loi de Descartes ne ferait connaître la route d'aucun rayon.

Lorsque Fresnel publia pour la première fois ce fait inattendu, il ne l'avait encore vérifié qu'à l'aide d'une méthode indirecte, remarquable par l'étrange circonstance que la réfraction des rayons se déduit d'expériences dans lesquelles aucune réfraction ne s'est opérée. Aussi notre confrère trouva-t-il plus d'un incrédule. La singularité de la découverte commandait peut-être quelque réserve; peut-être aussi, aux yeux de diverses personnes, avait-elle, comme l'ancienne loi d'Huyghens, le tort d'être le fruit d'une hypothèse. Quoi qu'il en soit, Fresnel aborda la difficulté de front. En montrant, dans un parallélipipède de topaze formé de deux prismes de même angle adossés, qu'aucun rayon ne passait entre deux faces opposées et parallèles sans être dévié, il rendit toute objection inutile.

Les physiciens, je pourrais citer ici les noms les plus célèbres, qui avaient cherché à renfermer dans une seule règle tous les cas possibles de la double réfraction s'étaient donc trompés, car ils admettaient unanimement, et comme un fait dont on ne pouvait douter, que pour la moitié de la lumière, que pour les rayons qu'ils appelaient *ordinaires*, les déviations devaient être les mêmes à égalité d'incidence, dans quelque sens qu'on eût coupé le cristal. La vraie loi de ces phénomènes compliqués, loi qui renferme comme cas particuliers les lois de Descartes et d'Huyghens, est due à Fresnel. Cette découverte exigeait au plus haut degré la réunion du talent des expériences et de l'esprit d'invention.

Je viens de l'avouer, les phénomènes de la double réfraction récemment analysés par Fresnel, et les lois qui les enchaînent, ne sont pas exempts d'une certaine complication. C'est là un sujet de regrets, je dirai presque de lamentations chez quelques esprits paresseux, qui réduiraient volontiers chaque science à ces notions superficielles dont on peut sans effort se rendre maître en quelques heures de travail. Mais ne voit-on pas que, avec ces idées, les sciences ne feraient aucun progrès; que négliger tel phénomène, parce que



notre faible intelligence trouverait quelque peine à le saisir, ce serait manquer à son mandat, que souvent on passerait ainsi à côté des plus importantes découvertes?

L'astronomie aussi, bornée à la connaissance des constellations et à quelques remarques insignifiantes sur les levers et les couchers des étoiles, était à la portée de tous les esprits; mais alors pouvait-on l'appeler une science? Lorsque, à la suite du travail le plus colossal qu'aucun homme ait jamais exécuté, Kepler substitua des mouvements elliptiques non uniformes aux mouvements circulaires et réguliers qui, d'après les anciens, devaient régir les planètes, ses contemporains eurent le droit de crier à la complication. Eh bien, peu de temps après, dans les mains de Newton, ces mouvements, compliqués en apparence, furent la base de la plus grande découverte des temps modernes, d'un principe tout aussi simple qu'il est fécond: ils servirent à prouver que chaque planète est maîtrisée dans sa course elliptique par une force unique, par une attraction émanée du soleil.

Les observateurs qui, à leur tour, renchérissant sur Kepler, montrèrent qu'il ne suffit pas des mouvements elliptiques pour représenter les vrais déplacements des planètes ne simplifièrent pas la science; mais, outre que les dérangements connus sous le nom de *perturbations* n'en auraient pas moins existé, si, en haine de toute complication, on s'était obstiné à ne les point voir, je dois dire que, en les étudiant avec soin, on a été conduit, entre tant d'autres importants résultats, au moyen de comparer les masses des divers astres dont notre système solaire se compose, et que, si nous savons aujourd'hui, par exemple, qu'il ne faudrait pas moins de 350,000 globes terrestres pour former un poids égal à celui du soleil, on le doit à l'observation de très-petites inégalités, qu'auraient certainement négligées ceux qui, à tout prix, ne veulent que des phénomènes simples.

Sans pousser plus loin ces remarques, je pourrai donc avouer que l'optique était plus facile, plus à la portée du commun des hommes, plus susceptible de démonstration dans les cours publics, avant tous les progrès qu'elle a faits de nos jours. Mais ces progrès sont une richesse réelle; ils ont donné lieu aux plus curieuses applications; ils signalent déjà dans diverses théories de la lumière des impossibilités qui doivent prendre rang parmi les découvertes: car, dans la recherche des causes, nous sommes souvent réduits à procéder par voie d'exclusion; sous ce rapport, il n'y a jamais d'expérience inutile; on

ne saurait trop les multiplier. Un homme d'un esprit universel, qui prenait souvent plaisir à cacher le sens le plus profond sous des formes burlesques. Voltaire, comparait toute théorie à une souris: « Elle passe, disait-il, dans neuf « trous, mais elle est arrêtée par le dixième. » C'est en multipliant indéfiniment le nombre de ces trous, ou, pour parler d'une manière moins triviale, le nombre des épreuves auxquelles une théorie doit satisfaire, que l'astronomie s'est placée au rang qu'elle occupe dans l'estime des hommes, qu'elle est devenue la première des sciences.

C'est en suivant la même marche qu'on pourra aussi donner à diverses branches de la physique le caractère d'évidence dont elles manquent encore à quelques égards.

Dans chaque science d'observation, il faut distinguer les faits, les lois qui les lient entre eux, et les causes. Souvent les difficultés du sujet arrêtent les expérimentateurs après le premier pas; presque jamais ils ne franchissent le troisième. Les progrès que Fresnel avait faits, sous les deux premiers rapports, dans l'étude de la double réfraction devaient naturellement le conduire à rechercher d'où pouvait dépendre un si singulier phénomène; or là encore il a obtenu d'éclatants succès. Mais, pressé par le temps, je pourrai seulement faire connaître le plus saillant de ses résultats.

Lorsque Huyghens publia son *Traité de la lumière,* on connaissait seulement deux gemmes donées de la double réfraction, le carbonate de chaux et le quartz. Aujourd'hui, il serait beaucoup plus court de dire quels cristaux n'ont pas cette propriété que de nommer ceux qui la possèdent. Anciennement, il fallait qu'un corps diaphane eût présenté distinctement la double image pour qu'on pût se permettre de l'assimiler au cristal d'Islande. Toutes les fois que l'écartement de deux faisceaux était très-petit, échappait à l'œil, l'observateur restait dans le doute, il n'osait prononcer. Maintenant, à l'aide de la méthode très-simple qu'un membre de cette Académie a signalée, l'existence de la double réfraction se manifeste par des caractères tout à fait indépendants de la séparation des deux images; aucune substance, quelque mince qu'elle puisse être, douée de cette propriété, ne saurait échapper au nouveau moyen d'investigation; mais, s'il était certain que la double réfraction ne peut exister sans qu'on aperçoive les phénomènes très-apparents sur lesquels la méthode se fonde, il ne paraissait pas aussi incontestable qu'elle dût nécessairement les accompagner. Le doute à cet égard semblait d'autant plus naturel, que l'au-

teur de la méthode avait trouvé lui-même des plaques de verre qui, sans séparer les images d'une manière perceptible, donnaient cependant naissance à tous les phénomènes en question; qu'un savant distingué de Berlin, M. Seebeck, prouva plus tard que tout verre brusquement refroidi jouit des mêmes propriétés; qu'enfin un très-habile physicien d'Édimbourg les faisait naître en comprimant des masses de verre avec force dans certains sens. Montrer qu'une plaque de verre ordinaire, ainsi modifiée par refroidissement ou par compression, sépare toujours la lumière en deux faisceaux, rendre cette séparation incontestable, tel est le problème important que se proposa Fresnel, et qu'il résolut avec son bonheur accoutumé.

En plaçant sur une même ligne, et dans une monture de fer portant de fortes vis ingénieusement disposées, quelques prismes de verre que ces vis soumettaient à de très-fortes pressions, Fresnel fit naître une double réfraction manifeste. Sous les rapports optiques, cet assemblage de pièces de verre ordinaire était donc un véritable cristal d'Islande; mais ici la séparation des images et toutes les autres propriétés qui en découlent résultaient exclusivement de l'action des vis de pression. Or cette action, analysée avec soin, ne devait produire qu'un seul effet : le rapprochement des molécules du verre dans le sens suivant lequel elle s'exerçait, tandis que, dans la direction perpendiculaire, ces molécules conservaient leurs distances primitives. Pouvait-on douter, après cette remarquable expérience, qu'une disposition moléculaire analogue, produite dans l'acte de la cristallisation, ne fût aussi, en général, cause de la double réfraction du carbonate de chaux et du quartz et de tous les minéraux de même espèce? Si l'on considère avec attention les ingénieux appareils à l'aide desquels Fresnel, en donuant ainsi artificiellement la double réfraction au verre ordinaire, a fait faire un si grand pas à la science, on est frappé de tout ce que l'esprit d'invention emprunte de secours, soit à la connaissance des arts, soit à cette dextérité manuelle qu'avait si bien caractérisée Franklin, quand il demandait aux physiciens de savoir scier avec une lime et limer avec une scie.

Le défaut de temps ne me permettra pas de citer ici divers autres travaux de notre confrère, également relatifs à la réfraction de la lumière, et dont je suis certain de ne pas exagérer l'importance en disant qu'ils suffiraient à la réputation de plusieurs physiciens du premier ordre. Je me hâte donc de passer à une théorie de l'optique non moins intéressante et toute moderne, à celle

qu'on a désignée par le nom de *théorie des interférences*. Elle me fournira de nouvelles occasions de faire ressortir l'étonnante perspicacité de Fresnel et les intarissables ressources de son esprit inventif.

INTERFÉRENCES.

Le nom même d'*interférence* n'est guère sorti jusqu'à présent de l'enceinte des académies, et cependant j'ignore si aucune branche des connaissances humaines présente des phénomènes plus variés, plus curieux, plus étranges. Essayons de dégager le fait capital qui domine cette théorie, du langage scientifique dans lequel il est ordinairement enveloppé, et j'espère qu'ensuite on reconnaîtra qu'elle mérite au plus haut degré de fixer l'attention du public.

Je supposerai qu'un rayon de lumière solaire vienne rencontrer directement un écran quelconque, une belle feuille de papier blanc, par exemple. La partie du papier que le rayon frappera, comme de raison, sera resplendissante; mais me croira-t-on maintenant, si je dis qu'il dépend de moi de rendre cette portion éclairée complétement obscure, sans que pour cela il soit nécessaire d'arrêter le rayon ou de toucher au papier?

Quel est donc le procédé magique qui permet de transformer à volonté la lumière en ombre, le jour en nuit? Ce procédé excitera plus de surprise encore que le fait en lui-même; ce procédé consiste à diriger sur le papier, mais par une route légèrement différente, un second rayon lumineux, qui, pris isolément aussi, l'aurait fortement éclairé. Les deux rayons en se mêlant semblaient devoir produire une illumination plus vive; le doute à cet égard ne paraissait pas permis; eh bien, ils se détruisent quelquefois tout à fait, et l'on se trouve avoir créé les ténèbres en ajoutant de la lumière à de la lumière.

Un fait neuf exige un mot nouveau. Ce phénomène dans lequel deux rayons, en se mêlant, se détruisent tout à fait ou seulement en partie, s'appelle une *interférence*.

Grimaldi avait déjà aperçu, avant 1665, une légère trace de l'action qu'un faisceau de lumière peut exercer sur un autre faisceau; mais, dans l'expérience qu'il cite, cette action était à peine apparente; d'ailleurs les circonstances qui la rendent possible n'avaient point été indiquées; aussi aucun physicien ne donna suite à l'observation.

En recherchant la cause physique de ces couleurs irisées, si remarquables,

dont brillent les bulles de savon, Hooke crut qu'elles étaient le résultat d'interférences; il assigna même très-ingénieusement quelques-unes des circonstances qui peuvent les faire naître; mais c'était là une théorie dénuée de preuves; et comme Newton, qui la connaissait, ne daigna seulement pas, dans son grand ouvrage, en faire la critique, elle resta plus d'un siècle dans l'oubli.

La démonstration expérimentale et complète du fait des interférences sera toujours le principal titre du docteur Thomas Young à la reconnaissance de la postérité. Les recherches de cet illustre physicien, dont les sciences déplorent la perte récente, avaient déjà conduit aux principes généraux dont je ne crois pas devoir m'abstenir de consigner ici l'énoncé, lorsque le génie de Fresnel s'en empara, les étendit et montra toute leur fécondité.

Deux rayons lumineux ne pourront jamais se détruire s'ils n'ont pas une origine commune, c'est-à-dire s'ils n'émanent pas l'un et l'autre de la même particule d'un corps incandescent. Les rayons d'un des bords du soleil n'interfèrent donc pas avec ceux qui proviennent du bord opposé ou du centre.

Parmi les mille rayons de nuances et de réfrangibilités diverses dont la lumière blanche se compose, ceux-là seulement sont susceptibles de se détruire qui possèdent des couleurs et des réfrangibilités identiques : ainsi, de quelque manière qu'on s'y prenne, un rayon rouge n'anéantira jamais un rayon vert.

Quant aux rayons de même origine et de même couleur, ils se superposent constamment sans s'influencer; ils produisent des effets représentés par la somme des intensités, si au moment de leur croisement ils ont parcouru des chemins parfaitement égaux.

Une interférence ne peut donc avoir lieu que si les routes qu'ont parcourues les rayons sont inégales; mais toute inégalité de cette espèce n'amène pas nécessairement une destruction de lumière; il est telle différence de route qui fait que les rayons, au contraire, s'ajoutent.

Quand on connaît la plus petite différence de chemin parcouru pour laquelle deux rayons se superposent ainsi sans s'influencer, on obtient ensuite toutes les différences de chemin qui donnent le même résultat, d'une manière bien simple, car il suffit de prendre le double, le triple, le quadruple, etc. du premier nombre.

Si l'on a noté de même la plus petite différence de route qui amène la des-

truction complète de deux rayons, tout multiple impair de ce premier nombre sera aussi l'indice d'une semblable destruction.

Quant aux différences de route qui ne sont numériquement comprises ni dans la première ni dans la seconde des deux séries que je viens d'indiquer, elles correspondent seulement à des destructions partielles de lumière, à de simples affaiblissements.

Ces séries de nombres, à l'aide desquels on peut savoir si, au moment de leur croisement, deux rayons doivent interférer ou seulement s'ajouter sans se nuire, n'ont pas la même valeur pour les lumières diversement colorées; les plus petits nombres correspondent aux rayons violets, indigos, bleus; les plus grands, aux rouges, orangés, jaunes et verts. Il résulte de là que, si deux rayons blancs se croisent en un certain point, il sera possible que, dans la série infinie de lumières diversement colorées dont ces rayons se composent, le rouge, par exemple, disparaisse tout seul, et que le point de croisement paraisse vert, car le vert, c'est du blanc moins le rouge.

Les interférences qui, dans le cas d'une lumière homogène, produisaient des changements d'intensité se manifestent donc, quand on opère avec de la lumière blanche, par des phénomènes de coloration. A la suite de tant de singuliers résultats, on sera peut-être curieux de trouver la valeur numérique de ces différences de route dont j'ai si souvent parlé, et qui placent deux rayons lumineux dans des conditions d'accord ou de destruction complète. Je dirai donc que, pour la lumière rouge, on passe de l'un à l'autre de ces deux états dès qu'on fait varier la longueur du chemin parcouru par l'un des rayons de trois dix-millièmes de millimètre.

Pour que la différence de chemins détermine seule si deux rayons de même origine et de même teinte s'ajouteront ou se détruiront mutuellement, il est nécessaire qu'ils aient l'un et l'autre parcouru un seul et même corps solide, liquide ou gazeux. Dès qu'il n'en est plus ainsi, il faut encore tenir compte, comme un membre de cette Académie l'a prouvé par des expériences incontestables, de l'étendue et de la réfrangibilité des corps à travers lesquels les rayons se sont séparément propagés. En faisant varier graduellement l'épaisseur de ces corps, les rayons qui les traversent pourront alors se détruire ou s'ajouter, bien qu'ils aient parcouru des chemins parfaitement égaux.

Il n'arrive presque jamais qu'une région quelconque de l'espace reçoive seulement de la lumière directe; cent rayons de la même origine lui parviennent

par des réflexions ou des réfractions plus ou moins obliques. Or, après ce que je viens de dire, on conçoit à combien de phénomènes cet entre-croisement de lumière doit donner lieu, et à quel point il eût été superflu d'en chercher la raison, tant que les lois des interférences n'étaient pas connues. Remarquons seulement que rien, jusqu'ici, ne dit si ces lois sont également applicables lorsque, avant de se mêler, les rayons ont reçu les modifications particulières dont j'ai déjà parlé, et qu'on désigne sous le nom de *polarisation*. Cette question était importante; elle a été l'objet d'un travail difficile que Fresnel entreprit avec un de ses amis (Arago). L'exemple qu'ils ont donné, en le publiant, d'indiquer pour quelle part chacun d'eux avait contribué, sinon à l'exécution matérielle des diverses expériences, du moins à leur invention, mériterait, je crois, d'être suivi; car les associations de ce genre tournent souvent à mal, parce que le public, s'obstinant, quelquefois par un pur caprice, à ne pas traiter les intéressés sur le pied d'une égalité parfaite, met ainsi en jeu l'amour-propre d'auteur, celle peut-être de toutes les passions humaines qui exige le plus de ménagements. Voici les résultats des recherches en question, car, sans parler des importantes conséquences qu'on en a déduites, ils méritent d'être cités, ne fût-ce qu'à raison de leur bizarrerie.

Deux rayons que l'on fait passer directement de l'état de lumière naturelle à l'état de rayons polarisés dans le même sens conservent, après avoir reçu cette modification, la propriété d'interférer : ils s'ajoutent ou se détruisent comme des rayons ordinaires et dans les mêmes circonstances.

Deux rayons qui passent, sans intermédiaire, de l'état naturel à celui de rayons polarisés rectangulairement perdent pour toujours la faculté d'interférer; modifiez ensuite de mille manières les chemins parcourus par ces rayons, la nature et les épaisseurs des milieux qu'ils traversent; il y a plus : ramenez-les, à l'aide de réflexions convenablement combinées, à des polarisations parallèles, rien de tout cela ne fera qu'ils puissent se détruire.

Mais si deux rayons actuellement polarisés dans deux sens rectangulaires, et qui dès lors ne sauraient agir l'un sur l'autre, avaient d'abord reçu des polarisations parallèles, en sortant de l'état naturel, il suffira, pour qu'ils puissent de nouveau s'anéantir, de leur faire reprendre, comme on voudra, le genre de polarisation dont ils avaient été primitivement doués.

On ne saurait se défendre de quelque étonnement, quand on apprend pour la première fois que deux rayons lumineux sont susceptibles de s'entre-

détruire; que l'obscurité peut résulter de la superposition de deux lumières; mais cette propriété des rayons une fois constatée, n'est-il pas encore plus extraordinaire qu'on puisse les en priver, que tel rayon la perde momentanément, et que tel autre, au contraire, en soit dépouillé à tout jamais? La théorie des interférences, considérée sous ce point de vue, semble plutôt le fruit des rêveries d'un cerveau malade que la conséquence sévère, inévitable, d'expériences nombreuses et à l'abri de toute objection. Au reste, ce n'est pas seulement à cause de sa singularité que cette théorie devait fixer l'attention du physicien; Fresnel y a trouvé la clef de tous les beaux phénomènes de coloration qu'engendrent les plaques cristallisées douées de la double réfraction : il les a analysés dans tous les détails; il en a déterminé les lois les plus cachées; il a prouvé qu'ils étaient des cas particuliers des interférences; il a renversé ainsi de fond en comble plusieurs romans scientifiques dont ces phénomènes avaient été l'occasion, et qui faisaient déjà plus d'un prosélyte, soit à raison de tout ce qu'on y remarquait de piquant, soit à cause du mérite distingué de leurs auteurs. Enfin ici, comme dans toute science qui marche vers sa perfection, les faits ont paru se compliquer, parce qu'on les examinait de plus près et avec une attention plus minutieuse; mais, en même temps, les causes sont devenues plus simples.

POLARISATION.

Quoique je sache à quel point on s'expose à lasser l'auditoire le plus bienveillant quand on lui parle longtemps du même objet, je me vois encore ramené par la nature des travaux de Fresnel au phénomène de la double réfraction; mais cette fois, au lieu de m'occuper de la manière dont les rayons se partagent en traversant cartains cristaux, j'examinerai les modifications permanentes qu'ils y reçoivent; je présenterai, en un mot, les principaux traits de la nouvelle branche de l'optique qui porte le nom de *polarisation de la lumière*.

Tout faisceau lumineux qui rencontre, même perpendiculairement, une face quelconque, naturelle ou artificielle, d'un de ces cristaux diaphanes qu'on appelle carbonate de chaux, spath calcaire ou cristaux d'Islande, s'y dédouble: une moitié de ce faisceau traverse la matière du cristal sans se dévier : on l'appelle faisceau ou rayon ordinaire; l'autre, au contraire, éprouve une réfraction très-sensible, et, par cette raison, on la nomme fort justement le fais-

ceau ou le rayon extraordinaire. Les faisceaux ordinaire et extraordinaire sont contenus dans un seul et même plan perpendiculaire à la face du cristal. Ce plan est très-important à considérer, car c'est lui qui détermine dans quel sens le rayon extraordinaire se dirigera; on lui a, en conséquence, donné un nom spécial : il s'appelle la *section principale*.

Ces prémisses posées, je supposerai, pour fixer les idées, qu'*un certain* cristal d'Islande ait sa section principale dirigée du *nord au midi*. Au-dessous, et à quelque distance que ce soit, nous placerons un autre cristal, orienté de même, c'est-à-dire de manière que sa section principale soit aussi contenue dans le méridien. Que résultera-t-il de cette disposition si la lumière traverse tout le système? Un faisceau unique vient frapper le premier cristal, mais il en sort deux faisceaux : chacun de ceux-là semble devoir éprouver la double réfraction dans le cristal suivant; dès lors on peut s'attendre à avoir quatre faisceaux émergents distincts. Il n'en est rien cependant : les rayons provenant du premier cristal ne se bifurquent pas dans le second; le faisceau ordinaire reste seulement faisceau ordinaire; le faisceau extraordinaire éprouve tout entier la réfraction extraordinaire. Ainsi, en traversant le cristal supérieur, les rayons lumineux ont changé de nature; ils ont perdu un de leurs anciens caractères spécifiques : celui d'éprouver *constamment* la double réfraction en traversant le cristal d'Islande.

Qu'on veuille bien se rappeler ce que sont des rayons de lumière, et peut-être accordera-t-on alors qu'une expérience à l'aide de laquelle on change leurs propriétés primitives d'une manière aussi manifeste mérite d'être connue, même de ceux pour qui les sciences sont un simple objet de curiosité.

L'idée qui de prime abord se présente à l'esprit, quand on veut expliquer le singulier résultat dont je viens de rendre compte, consiste à supposer que, originairement, il y a dans chaque rayon lumineux naturel deux espèces de molécules distinctes; que la première espèce doit toujours subir la réfraction ordinaire; que la seconde est destinée à suivre seulement la route extraordinaire; mais une expérience très-simple renverse cette hypothèse de fond en comble. En effet, lorsque la section principale du *second cristal*, au lieu d'être dirigée du nord au midi, comme je l'avais d'abord supposé, s'étend de l'ouest à l'est, le rayon qui était ordinaire dans le cristal supérieur devient extraordinaire dans l'autre, et réciproquement.

Qu'y a-t-il de différent, en réalité, entre deux expériences qui donnent des

résultats aussi dissemblables? Une circonstance fort simple et de bien peu d'importance au premier aspect : c'est que d'abord la section principale du second cristal coupait les rayons provenant du premier par leurs côtés nord et sud, et qu'ensuite elle les a coupés dans les côtés est et ouest.

Il faut donc que, dans chacun de ces rayons, les côtés nord et sud diffèrent en quelque chose des côtés est et ouest; de plus, les côtés *nord-sud* du rayon ordinaire doivent avoir précisément les mêmes propriétés que les côtés *est-ouest* du rayon extraordinaire; en sorte que, si ce dernier rayon faisait un quart de tour sur lui-même, il serait impossible de le distinguer de l'autre. Les rayons lumineux sont si déliés, que des centaines de milliards de ces rayons peuvent passer simultanément par un trou d'aiguille sans se nuire. Nous voilà cependant amenés à nous occuper de leurs côtés, à reconnaître à ces côtés les propriétés les plus dissemblables.

Lorsque, en parlant d'un gros aimant naturel ou artificiel, les physiciens affirment qu'il a des *pôles*, ils entendent seulement par là que certains points de son contour se trouvent doués de propriétés particulières qu'on ne rencontre pas du tout dans les autres points, ou qui du moins s'y manifestent plus faiblement. On a donc pu, avec autant de raison, dire la même chose des rayons lumineux ordinaires et extraordinaires provenant du dédoublement qu'éprouve la lumière dans le cristal d'Islande; on a pu, par opposition avec les rayons naturels, où tous les points du contour semblent pareils, les appeler des rayons polarisés.

Pour qu'on n'étende pas au delà des bornes légitimes l'analogie d'un rayon polarisé et d'un aimant, il importe toutefois de bien remarquer que, sur le rayon, les pôles diamétralement opposés paraissent avoir exactement les mêmes propriétés; quant aux pôles dissemblables, ils se trouvent constamment sur des points du rayon situés dans deux directions rectangulaires.

Les lignes des espèces de diamètres qui sur chaque rayon joignent les pôles analogues méritent une attention toute particulière. Lorsque, sur deux rayons séparés, ces lignes sont parallèles, on dit les rayons polarisés dans le même plan. Je n'ai donc pas besoin d'ajouter que deux rayons polarisés à angle droit doivent avoir les pôles identiques dans deux directions perpendiculaires l'une à l'autre.

Les deux rayons ordinaire et extraordinaire, par exemple, donnés par quelque cristal que ce soit, sont toujours polarisés à angle droit.

Tout ce que je viens de rapporter sur la polarisation de la lumière, Huyghens et Newton le connaissaient déjà avant la fin du XVIIe siècle; jamais certainement un plus curieux sujet de recherches ne s'était offert aux méditations des physiciens; et néanmoins il faut franchir un intervalle de plus de cent années pour trouver, je ne dirai pas des découvertes, mais même de simples travaux destinés à perfectionner cette branche de l'optique.

L'histoire de toutes les sciences présente une multitude de bizarreries pareilles; c'est que pour chacune d'elles il arrive périodiquement des époques où, après de grands efforts, on les suppose généralement parvenues au terme de leurs progrès. Alors les expérimentateurs sont en général très-timides; ils se croiraient coupables d'un manque de modestie, d'une sorte de profanation, s'ils osaient porter une main indiscrète sur les barrières que d'illustres devanciers avaient posées : aussi se contentent-ils ordinairement de perfectionner les éléments numériques ou de remplir quelques lacunes, au prix d'un travail souvent fort difficile, et qui cependant attire à peine les regards du public.

En résumé, les expériences d'Huyghens avaient nettement établi que la double réfraction modifie les propriétés primordiales de la lumière de manière que, après l'avoir subie une première fois, les rayons restent simples ou se dédoublent, suivant le côté par lequel un nouveau cristal se présente à eux; mais ces modifications se rapportent-elles exclusivement à la double réfraction? Toutes les autres propriétés sont-elles demeurées intactes?

Ce sont les travaux d'un de nos plus illustres confrères, comme Fresnel enlevé très-jeune aux sciences dont il était l'espoir, qui nous permettront de répondre à cette importante question. Malus découvrit, en effet, que, dans l'acte de la réflexion, les rayons polarisés se comportent autrement que les rayons naturels; ceux-ci, tout le monde le sait, se réfléchissent en partie quand ils tombent sur les corps même les plus diaphanes, quelles que soient d'ailleurs l'incidence et la position de la surface réfléchissante par rapport aux côtés du rayon. Quand il s'agit au contraire de lumière polarisée, il y a toujours une situation du miroir, relativement aux pôles, dans laquelle toute réflexion disparaît si on la combine avec un angle spécial, et qui varie seulement d'un miroir à l'autre, suivant la nature de la matière dont ils sont formés.

Si, après cette curieuse observation, la double réfraction cessait d'être l'unique moyen de distinguer la lumière polarisée de la lumière ordinaire, du moins semblait-elle encore la seule voie par laquelle des rayons lumineux

pussent devenir polarisés; mais bientôt une nouvelle découverte de Malus apprit au monde savant, à sa très-grande surprise, qu'il existe des méthodes beaucoup moins cachées pour faire naître cette modification. Le plus simple phénomène de l'optique, la réflexion sur un miroir diaphane, est un grand moyen de polarisation. La lumière qui s'est réfléchie à la surface de l'eau sous l'angle de 37 degrés, à la surface d'un miroir de verre commun sous l'inclinaison de 35 degrés 25 minutes seulement, est tout aussi complétement polarisée que les deux faisceaux ordinaire et extraordinaire sortant d'un cristal d'Islande. La réflexion de la lumière occupait déjà les observateurs du temps de Platon et d'Euclide; depuis cette époque, elle a été l'objet de mille expériences, de cent spéculations théoriques; la loi suivant laquelle elle s'opère sert de base à un grand nombre d'instruments anciens et modernes. Eh bien, dans cette multitude d'esprits éclairés, d'hommes de génie, d'artistes habiles, qui, durant plus de deux mille trois cents ans, s'étaient occupés de ce phénomène, personne n'y avait soupçonné autre chose que le moyen de dévier les rayons, de les réunir ou de les écarter; personne n'avait imaginé que la lumière réfléchie ne dût pas avoir toutes les propriétés de la lumière incidente, qu'un changement de route pût être la cause d'un changement de nature. Les générations d'observateurs se succèdent ainsi pendant des milliers d'années, touchant chaque jour aux plus belles découvertes sans les faire.

Malus, comme je l'ai déjà expliqué, donna un moyen de polariser la lumière différent de celui qu'Huyghens avait anciennement suivi; mais les polarisations engendrées par les deux méthodes sont identiques; les rayons réfléchis et ceux qui proviennent d'un cristal d'Islande jouissent exactement des mêmes propriétés. Depuis, un membre de cette Académie (Arago) a découvert un genre de polarisation entièrement distinct et qui se manifeste autrement que par des phénomènes d'intensité. Les rayons qui l'ont subie, par exemple, donnent toujours deux images en traversant un cristal d'Islande; mais ces images sont teintes dans tous leurs points d'une couleur vive et uniforme. Ainsi, quoique la lumière incidente soit blanche, le faisceau ordinaire est complétement rouge, complétement orangé, jaune, vert, bleu, violet, suivant le côté par lequel la section principale du cristal pénètre dans le rayon. Quant au faisceau extraordinaire, il ne serait pas suffisant d'annoncer qu'il ne ressemblera jamais par la suite au rayon ordinaire; il faut dire qu'il en diffère autant que possible; que si l'un se montre coloré de rouge, l'autre sera du

plus beau vert, et ainsi de même pour toutes les autres nuances prismatiques.

Quand la nouvelle espèce de rayons polarisés se réfléchit sur un miroir diaphane, on aperçoit des phénomènes non moins curieux.

Concevons, en effet, pour fixer les idées, qu'un de ces rayons soit vertical et qu'il rencontre un miroir réfléchissant, du verre le plus pur, sous un angle d'environ 35 degrés : ce miroir pourra se trouver à droite du rayon ; il pourra, l'inclinaison restant constante, être à sa gauche, en avant, en arrière, dans toutes les directions intermédiaires. On se souvient que le rayon incident était blanc ; eh bien, dans aucune des positions du miroir de verre, le rayon réfléchi n'aura cette nuance : il sera tantôt rouge, tantôt orangé, jaune, vert, bleu, indigo, violet, suivant le *côté* par lequel la lame de verre se sera présentée au rayon primitif, et c'est précisément dans cet ordre que les nuances se succéderont si l'on parcourt graduellement toutes les positions possibles. Ici ce ne sont pas seulement quatre pôles placés dans deux directions rectangulaires qu'il faut admettre dans le rayon ; on voit qu'il y en a des milliers ; que chaque point du contour a un caractère spécial ; que chaque face amène la réflexion d'une nuance particulière. Cette étrange *dislocation* du rayon naturel (on me passera ce terme, puisqu'il est exact) donne ainsi le moyen de décomposer la lumière blanche par voie de réflexion. Les couleurs, il faut l'avouer, n'ont pas toute l'homogénéité de celles que Newton obtenait avec le prisme ; mais aussi les objets n'éprouvent aucune déformation, et, dans une multitude de recherches, c'est là le point capital.

Pour reconnaître si un rayon a reçu soit la polarisation d'Huyghens et de Malus, soit celle dont je viens de parler, et qu'on a appelée la *polarisation chromatique*, il suffit, comme on l'a vu, de lui faire éprouver la double réfraction ; mais de ce qu'un faisceau en traversant un cristal d'Islande donnerait toujours deux images blanches également vives, il ne s'ensuivrait pas qu'il est formé de lumière ordinaire ; c'est là encore une découverte de Fresnel. C'est lui qui le premier a fait voir qu'un rayon peut avoir les mêmes propriétés sur tous les points de son contour, et n'être pas cependant de la lumière naturelle. Pour montrer, par un seul exemple, que ces deux espèces de lumières se comportent différemment et ne doivent pas être confondues, je dirai qu'en éprouvant la double réfraction un rayon naturel qui vient de traverser une lame cristalline donne deux images blanches, tandis que, dans les mêmes

circonstances, le rayon de Fresnel se décompose en deux faisceaux vivement colorés.

On imprime aux rayons polarisés ordinaires cette modification nouvelle, qui, n'étant pas relative à leurs divers côtés, a été désignée par le nom de *polarisation circulaire,* en leur faisant subir deux réflexions totales sur des surfaces vitreuses convenables.

Le plaisir d'avoir attaché son nom à un genre de polarisation jusque-là inaperçu eût probablement suffi à la vanité d'un physicien vulgaire, et ses recherches n'eussent pas été plus loin; mais Fresnel était conduit par des sentiments plus élevés : à ses yeux rien n'était fait tant qu'il restait quelque chose à faire; il chercha donc s'il n'y aurait pas d'autres moyens de produire la polarisation circulaire, et, comme d'habitude, une découverte remarquable fut le prix de ses efforts. Cette découverte peut être énoncée en deux mots : il y a un genre particulier de double réfraction qui communique aux rayons la polarisation circulaire, comme la double réfraction du cristal d'Islande leur donne la polarisation d'Huyghens. Cette double réfraction spéciale résulte non de la nature du cristal, mais bien de certaines coupes, que Fresnel a signalées. Les propriétés des rayons polarisés circulairement conduisirent aussi notre confrère à des moyens nouveaux et très-curieux de faire naître la polarisation colorée.

Dans tous les temps et dans tous les pays, on trouve des esprits moroses qui, assez disposés à proclamer la gloire des morts, ne traitent pas à beaucoup près leurs contemporains avec la même faveur. Dès qu'une découverte apparaît, ils la nient; ensuite ils contestent sa nouveauté, et feignent de l'apercevoir dans quelque ancien passage bien obscur et bien oublié; enfin ils soutiennent qu'elle a été seulement le fruit du hasard.

Je ne sais si les hommes de notre siècle sont meilleurs que leurs devanciers: toujours est-il qu'aucun doute ne s'est élevé ni sur l'exactitude, ni sur la nouveauté, ni sur l'importance des découvertes dont je viens de rendre compte. Quant au hasard, l'envie la plus aveugle n'eût pas osé ici l'invoquer, tant les appareils employés par Fresnel dans l'étude de la polarisation circulaire étaient compliqués, minutieux, et allaient droit au but qu'il se proposait. Peut-être même serait-il convenable d'avertir que la plupart d'entre eux avaient été suggérés par des idées théoriques; car, sans cela, plusieurs des expériences de notre confrère sembleraient offrir des combinaisons dont il eût été pour ainsi dire

impossible que personne s'avisât. Si, en écrivant l'histoire des sciences, il est juste de mettre dans tout leur jour les découvertes de ceux qui les ont cultivées avec gloire, il importe aussi, ce me semble, d'éviter qu'on y puisse trouver un sujet de découragement.

CARACTÈRES PRINCIPAUX DU SYSTÈME DE L'ÉMISSION ET DE CELUI DES ONDES. — MOTIFS SUR LESQUELS FRESNEL S'ÉTAIT FONDÉ POUR REJETER SANS RÉSERVE LE SYSTÈME DE L'ÉMISSION.

Après avoir étudié avec tant de soin les propriétés des rayons lumineux, il était naturel de se demander en quoi la lumière consiste. Cette question scientifique, l'une des plus grandes, sans contredit, dont les hommes se soient jamais occupés, a donné lieu à de vifs débats. Fresnel y a pris une part active. Je vais donc essayer de la caractériser avec précision; je présenterai ensuite une analyse succincte des curieuses expériences qu'elle a fait naître.

Les sens de l'ouïe et de l'odorat nous font découvrir l'existence des corps éloignés, de deux manières totalement différentes. Toute substance odorante éprouve une espèce d'évaporation; de petites parcelles s'en détachent sans cesse; elles se mêlent à l'air, qui leur sert de véhicule et les répand en tous sens. Le grain de musc dont les subtiles émanations pénètrent dans toutes les parties d'une vaste enceinte s'appauvrit de jour en jour; il finit par se dissiper, par disparaître en totalité.

Il n'en est pas de même d'un corps sonore. Tout le monde sait que la cloche éloignée dont le tintement ébranle fortement notre oreille ne nous envoie cependant aucune molécule d'airain; qu'elle pourrait résonner sans interruption pendant cent années consécutives sans rien perdre de son poids. Lorsqu'un marteau vient la frapper, ses parois s'ébranlent; elles éprouvent un mouvement vibratoire qui se communique d'abord aux couches d'air voisines, et ensuite, de proche en proche, à toute l'atmosphère. Ce sont ces vibrations atmosphériques qui constituent les sons.

Nos organes, quels qu'ils soient, ne sauraient être mis en rapport avec les corps éloignés que de l'une ou de l'autre de ces deux manières; ainsi, ou le soleil lance incessamment, comme les corps odorants, des particules matérielles par tous les points de sa surface, avec une vitesse de 77,000 lieues par seconde, et ce sont ces petits fragments solaires qui, en pénétrant dans l'œil,

produisent la vision; ou bien l'astre, en cela semblable à une cloche, excite seulement un mouvement ondulatoire dans un milieu éminemment élastique dont l'espace est rempli, et ces vibrations viennent ébranler notre rétine, comme les ondulations sonores affectent la membrane du tympan.

De ces deux explications des phénomènes de la lumière, l'une s'appelle la *théorie de l'émission*, l'autre est connue sous le nom de *système des ondes*. On trouve déjà des traces de la première dans les écrits d'Empédocle. Chez les modernes, je pourrais citer parmi ses adhérents Kepler, Newton, Laplace. Le système des ondes ne compte pas des partisans moins illustres : Aristote, Descartes, Hooke, Huyghens, Euler, l'avaient adopté. De tels noms rendraient un choix bien difficile, si, en matière de science, les noms les plus illustres pouvaient être des autorités déterminantes.

Au reste, si l'on s'étonnait de voir d'aussi grands génies ainsi divisés, je dirais que de leur temps la question en litige ne pouvait être résolue, que les expériences nécessaires manquaient, qu'alors les divers systèmes sur la lumière étaient, non des déductions logiques des faits, mais, si je puis m'exprimer ainsi, de simples vérités de sentiment; qu'enfin le don de l'infaillibilité n'est pas accordé même aux plus habiles, dès que, en sortant du domaine des observations, et se jetant dans celui des conjectures, ils abandonnent la marche sévère et assurée dont les sciences se prévalent de nos jours avec raison, et qui leur a fait faire de si incontestables progrès. Avant de parcourir les larges brèches qu'on a faites récemment au système de l'émission, il sera peut-être convenable de jeter un coup d'œil sur les vives attaques dont il avait été l'objet sous la plume des Euler, des Franklin, etc. et de montrer que les partisans de Newton pouvaient alors sans trop de présomption considérer la solution comme ajournée à long terme. Les effets qu'un boulet de canon peut produire dépendent si directement de la masse et de la vitesse, que l'on peut, sans les altérer, changer à volonté l'un de ces éléments, pourvu qu'on fasse varier l'autre proportionnellement et en sens inverse. Ainsi un boulet de deux kilogrammes renverse un mur; un boulet d'un kilogramme le renversera aussi, pourvu qu'on lui imprime une vitesse double. Si le poids du boulet était réduit au dixième, au centième de sa valeur primitive, il faudrait pour l'identité d'effet que la vitesse devînt dix fois, cent fois plus grande. Or nous savons que la vitesse d'un boulet est la six-cent-quarante-millième partie de celle de la lumière; si le poids d'une molécule lumineuse était la six-cent-qua-

rante-millième partie de celui du boulet de canon, comme ce boulet elle renverserait les murs.

Ces déductions sont certaines; voyons maintenant les faits. Une molécule lumineuse, non-seulement ne renverse pas les murs, mais elle pénètre dans un organe aussi délicat que l'œil sans occasionner aucune douleur: mais elle ne produit aucun effet dynamique sensible; disons plus, dans les expériences destinées à apprécier les impulsions de la lumière, les physiciens ne se sont pas contentés d'employer un rayon isolé, ils ont fait agir simultanément l'immense quantité de lumière qu'on peut condenser au foyer de la plus large lentille: ils n'ont pas opposé au choc des rayons des obstacles très-résistants. mais bien des corps si délicatement suspendus, qu'un souffle eût suffi pour les déranger énormément : ils ont agi, par exemple, sur l'extrémité d'un levier très-léger attaché horizontalement à un fil d'araignée. Le seul obstacle au mouvement de rotation d'un semblable appareil serait la force de réaction qu'acquerrait le fil en se tordant. Mais cette force doit être considérée comme nulle, car, de sa nature, elle augmente toujours rapidement avec la torsion, et ici cependant, l'un des observateurs dont j'analyse les expériences n'en aperçut aucune trace après avoir eu la patience de faire tourner le levier sur lui-même 14,000 fois.

Il est donc bien constaté que, malgré leur excessive vitesse, des milliards de rayons lumineux agissant simultanément ne produisent aucun choc appréciable; mais on a été au delà des conséquences légitimes que cette intéressante expérience autorise, quand on en a conclu qu'un rayon ne se compose pas d'éléments matériels doués d'un vif mouvement de translation. On peut bien déduire de l'absence de toute rotation du levier suspendu au fil d'araignée, sous l'action d'une quantité énorme de lumière, que les particules élémentaires des rayons lumineux n'ont pas des dimensions comparables à la millionième partie des molécules pesantes les plus ténues; mais comme rien ne montre qu'il y ait absurdité à les supposer un million, un milliard de fois plus petites encore, ce genre d'expériences et d'arguments, dont on doit la première idée à Franklin, ne pourra jamais rien fournir de décisif.

Parmi les objections qu'Euler a présentées dans ses ouvrages contre le système de l'émission, deux, que je vais signaler et sur lesquelles il a plus particulièrement insisté, lui semblaient irrésistibles : «Si le soleil, dit ce grand «géomètre, lance continuellement des parties de sa propre substance en tout

« sens et avec une excessive vitesse, il finira par s'épuiser; et puisque tant « de siècles se sont écoulés depuis les temps historiques, la diminution devrait « être déjà sensible. » Mais n'est-il pas évident que cette diminution est liée à la grosseur des particules lumineuses? Or rien n'empêche de leur supposer de tels diamètres que, après des millions d'années d'une émission continue, le volume du soleil en soit à peine altéré. Aucune observation exacte ne prouve d'ailleurs que cet astre ne s'épuise pas, que son diamètre est aussi grand aujourd'hui qu'au siècle d'Hipparque.

Personne n'ignore que des milliards de rayons peuvent pénétrer simultanément dans une chambre obscure par le plus petit trou d'épingle, et y former des images très-nettes de tous les objets extérieurs. En se croisant dans un si petit espace, les éléments matériels dont on suppose cette multitude de rayons formés sembleraient cependant devoir s'entre-choquer avec une grande impétuosité, changer de direction de mille manières, et se mêler sans aucun ordre. Cette difficulté est sans doute très-spécieuse, mais elle ne semble pas insurmontable.

La chance que des molécules partant de deux points différents, et passant par un même trou, se rencontreront, dépend à la fois du diamètre absolu de ces molécules et des intervalles qui les séparent. On pourrait donc, en diminuant convenablement les diamètres, rendre les chances de choc presque nulles; mais nous avons ici, dans l'intervalle des molécules, un autre élément qui seul conduirait largement au but. En effet, toute sensation lumineuse dure un certain temps; l'objet incandescent qui a lancé des rayons dans l'œil se voit encore, l'expérience l'a prouvé, au moins un centième de seconde après que cet objet a disparu. Or, en un centième de seconde, un rayon parcourt 770 lieues. Ainsi les molécules lumineuses qui forment chaque rayon pourraient être à 770 lieues les unes des autres, et produire néanmoins une sensation continue de lumière. Avec de telles distances, que deviennent ces chocs répétés dont parlait Euler, et qui, en toute circonstance, devaient mettre obstacle à la propagation régulière des rayons? On se sent presque humilié quand on voit un géomètre de ce rare génie se croire autorisé, par des objections si futiles, à qualifier le système de l'émission, un égarement de Newton, une erreur grossière, dont le crédit, dit-il, ne pourrait s'expliquer qu'en se rappelant cette remarque de Cicéron, qu'*on ne saurait imaginer rien de si absurde que les philosophes ne soient capables de le soutenir.*

Le système de l'émission a maintenant très-peu de partisans; mais ce n'est pas sous les coups d'Euler qu'il a succombé. Des objections insurmontables ont été puisées dans des phénomènes variés dont cet illustre géomètre ignorait même l'existence. Ce grand progrès de la science appartient aux physiciens de nos jours : il est dû en partie aux travaux de Fresnel. Cette seule considération m'obligerait à le signaler ici en détail, lors même que l'intérêt de la question ne m'en ferait pas aussi un devoir.

Si la lumière est une onde, les rayons de différentes couleurs, semblables en cela aux divers sons employés dans la musique, se composeront de vibrations inégalement rapides, et les rayons rouges, verts, bleus, violets, se transmettront à travers les espaces éthérés, comme toutes les notes de la gamme dans l'air, avec des vitesses exactement égales.

Si la lumière est une émanation, les rayons de diverses couleurs se seront formés de molécules nécessairement différentes quant à leur nature ou à leur masse, et qui, de plus, pourront être douées de vitesses dissemblables.

Une inspection attentive des bords des ombres que produisent les satellites de Jupiter dans leur passage sur le disque lumineux de la planète, et, mieux encore, l'observation des étoiles changeantes, ont prouvé que tout les rayons colorés se meuvent également vite. Ainsi se trouve vérifié le trait caractéristique du système des ondes.

Dans l'un et dans l'autre des deux systèmes sur la lumière, la vitesse primordiale d'un rayon détermine la réfraction qu'il doit éprouver, quand il rencontre obliquement la surface d'un corps diaphane. Si cette vitesse augmente, la réfraction deviendra plus petite, et, réciproquement, une diminution de vitesse se manifestera par une déviation croissante. La réfraction devient ainsi un moyen assuré de comparer les vitesses de toutes sortes de rayons. En se livrant à cette recherche avec des moyens tellement précis qu'ils auraient fait ressortir des différences d'un cinquante-millième, on a pu reconnaître que la lumière de tous les astres, que la lumière de nos foyers, celle des bougies et des lampes à double courant d'air, disons plus, que les faibles rayons lancés par les vers luisants, parcourent tout aussi bien 77,000 lieues par seconde que la lumière éblouissante du soleil.

On concevra aisément comment ce résultat est une conséquence mathématique du système des ondes, si l'on veut bien remarquer que toutes les notes musicales se propagent également vite dans l'air, soit qu'elles émanent de la

voix d'un chanteur, de la corde d'acier d'un clavecin, de la corde à boyau d'un violon, de la surface vitreuse d'un harmonica, ou des parois métalliques d'un énorme tuyau d'orgue. Or il n'y a aucune raison pour que les notes lumineuses (on me passera, j'espère, cette expression) se comportent autrement dans l'éther. Dans l'hypothèse de l'émission, l'explication n'est pas aussi simple. Si la lumière se compose d'éléments matériels, elle se trouvera soumise à l'attraction universelle; à peine se sera-t-elle élancée d'un corps incandescent, que l'action de ce corps tendra à l'y ramener. Une diminution graduelle de sa vitesse originaire est donc indubitable; il fallait seulement rechercher si les observations pourraient la faire découvrir. C'était là une simple question de calcul. Or, en faisant sur la constitution physique de quelques étoiles, c'est-à-dire à l'égard de leur volume et de leur densité, des suppositions qui ne semblent avoir rien d'outré, on trouve qu'elles pourraient, par leur force attractive, anéantir totalement la vitesse d'émission des molécules lumineuses: qu'après être parvenues à une distance donnée, ces molécules, qui jusque-là se seraient éloignées du corps, y retourneraient par un mouvement rétrograde. Ainsi, certains astres pourraient être aussi resplendissants que le soleil jusqu'à la distance de 40 millions de lieues, par exemple, et paraître ensuite subitement tout à fait obscurs, 40 millions de lieues étant tout juste la limite qu'aucun de leurs rayons ne saurait dépasser. Changez beaucoup les volumes et les densités qui fournissent ces résultats; prenez pour les étoiles de première grandeur de telles dimensions qu'aucun astronome ne refuserait de les considérer comme probables, elles ne présenteront plus alors d'aussi étranges phénomènes : elles ne seront plus éblouissantes ici et complétement obscures un peu plus loin; mais la vitesse de leur lumière changera avec la distance, et si deux de ces astres sont très-diversement éloignés de la terre, leurs rayons nous arriveront avec des vitesses dissemblables. N'est-ce donc pas contre le système de l'émission une objection formidable que cette parfaite égalité de vitesse, dont toutes les observations font foi?

Il existe un moyen très-simple d'altérer notablement, sinon la vitesse absolue d'un rayon, au moins sa vitesse relative : c'est de l'observer pendant sa course annuelle, quand la terre se dirige soit vers l'astre d'où ce rayon émane, soit vers la région diamétralement opposée. Dans le premier cas, c'est comme si la vitesse du rayon se trouvait accrue de toute celle de notre globe; dans le second, le changement a numériquement la même valeur, mais la vitesse

primitive est diminuée. Or personne n'ignore que la vitesse de translation de la terre est comparable à celle de la lumière, qu'elle en est la dix-millième partie. Observer d'abord une étoile vers laquelle la terre marche et ensuite une étoile que la terre fuit, c'est avoir opéré sur des rayons dont les vitesses diffèrent entre elles d'un cinq-millième. De tels rayons doivent être inégalement réfractés. La théorie de l'émission fournit les moyens de dire en nombres à combien l'inégalité s'élèvera, et l'on peut voir ainsi qu'elle est fort supérieure aux petites erreurs des observations. Eh bien, des mesures précises ont complétement démenti le calcul : les rayons émanés de toutes les étoiles, dans quelque région qu'elles soient situées, éprouvent précisément la même réfraction.

Le désaccord entre la théorie et l'expérience ne pouvait pas être plus manifeste, et dès ce moment le système de l'émission semblait renversé de fond en comble; on est cependant parvenu à ajourner cet arrêt définitif à l'aide d'une supposition dont je pourrai rendre compte en deux mots, car elle consiste à admettre que les corps incandescents lancent des rayons avec toutes sortes de vitesses, mais qu'une vitesse spéciale et déterminée est nécessaire pour qu'ils soient de la lumière. Si un dix-millième d'augmentation ou de diminution dans leur vitesse enlève aux rayons leurs propriétés lumineuses, l'égalité de déviation observée est la conséquence nécessaire de cette supposition; car, dans la multitude des molécules qui viendront le frapper, l'œil, qu'il s'éloigne d'une étoile ou qu'il marche à sa rencontre, apercevra en toute occasion celles de ces molécules dont la vitesse relative sera la même. Mais cette hypothèse, on ne saurait en disconvenir, enlèverait au système de l'émission la grande simplicité qui faisait son principal mérite. Les entre-chocs des molécules, sur lesquels Euler a tant insisté, deviendraient alors la conséquence inévitable de leur inégalité de vitesse, et amèneraient dans la propagation des rayons un trouble qu'aucune observation n'a fait ressortir.

La lumière exerce une action frappante sur certains corps; elle change promptement leur couleur. Le nitrate d'argent, vulgairement connu sous le nom de *pierre infernale*, possède, par exemple, cette propriété à un très-haut degré: il suffit de l'exposer durant quelques secondes à la lumière diffuse d'un jour nébuleux, pour qu'il perde sa blancheur primitive et devienne d'un noir bleuâtre. Dans la lumière solaire, le changement est presque instantané. Les chimistes ont cru voir dans cette décoloration un phénomène analogue à ceux

qu'ils produisent journellement. Suivant eux, la lumière serait un véritable réactif, qui, en s'ajoutant aux principes constituants du composé sur lequel elle agit, en modifierait quelquefois les propriétés primitives. Quelquefois aussi la matière lumineuse déterminerait seulement par son action le dégagement d'un ou de plusieurs éléments des corps qu'elle irait frapper.

Ces explications, quoique basées sur des analogies spécieuses, ne paraissent pas pouvoir être admises depuis qu'il est constaté que, en interférant, les rayons lumineux perdent aussi des propriétés chimiques dont ils étaient doués. Comment concevoir en effet que la matière de deux rayons puisse se combiner avec une substance donnée, si chaque rayon va la frapper isolément, et qu'aucune combinaison, au contraire, n'ait lieu quand ces mêmes rayons frappent simultanément, après avoir parcouru, car cette condition est nécessaire, des routes différant les unes des autres de quantités comprises dans une certaine série régulière de nombres?

En géométrie, pour démontrer l'inexactitude d'une proposition, on la suit dans toutes ses conséquences, jusqu'à ce qu'il en ressorte un résultat complétement absurde. Ne faut-il pas ranger dans cette catégorie une action chimique qui naîtrait ou disparaîtrait suivant la longueur du chemin qu'aurait suivi le réactif?

Les phénomènes naturels se présentent ordinairement à nous sous des formes très-compliquées, et le véritable mérite de l'expérimentateur consiste à les dégager d'une multitude de circonstances accessoires qui ne permettraient pas d'en saisir les lois.

Si, par exemple, on n'avait observé les ombres des corps opaques qu'en plein air, si on n'avait jamais éclairé ces corps avec des points lumineux très-resserrés, personne n'eût deviné combien un phénomène si vulgaire offre de curieux sujets de recherches; mais placez au milieu d'une chambre noire, et dans le faisceau de lumière homogène qui diverge, soit d'un petit trou du volet, soit du foyer d'une lentille de verre, tel corps opaque qu'il vous plaira de choisir, et son ombre se montrera entourée d'une série de stries contiguës, les unes très-lumineuses, les autres complétement obscures. Substituez de la lumière blanche au faisceau homogène, et des stries semblables, vivement irisées, viendront occuper la place des précédentes.

Grimaldi aperçut le premier ces singuliers accidents de lumière, auxquels il donna le nom de diffraction. Newton en fit ensuite l'objet d'une recherche

toute spéciale : il crut y voir des preuves manifestes d'une action attractive et répulsive très-intense, qu'exerceraient les corps sur les rayons qui passent dans leur voisinage. Cette action, en la supposant réelle, ne pourrait s'expliquer qu'en admettant la matérialité de la lumière. Le phénomène de la diffraction méritait donc, par cette seule raison, de fixer au plus haut degré l'attention des physiciens.

Plusieurs en effet l'étudièrent, mais par des méthodes très-inexactes : Fresnel enfin donna à ce genre d'observations une perfection inespérée, en montrant qu'il n'est pas nécessaire pour voir les bandes diffractées de les recevoir sur un écran, comme Newton et tous les autres expérimentateurs l'avaient fait jusque-là, qu'elles se forment nettement dans l'espace même, où l'on peut les suivre avec toutes les ressources qui résultent de l'emploi du micromètre astronomique armé d'un fort grossissement.

D'après les expériences précises faites par Fresnel, à l'aide de ses nouvelles méthodes d'observation, si l'on voulait attribuer encore les effets de la diffraction à des forces attractives et répulsives agissant sur des éléments matériels, il faudrait admettre que ces actions sont totalement indépendantes de la nature et de la densité des corps, car un fil d'araignée et un fil de platine produisent des bandes parfaitement semblables; les masses n'auraient plus d'influence, puisque le dos et le tranchant d'un rasoir se comportent exactement de même. On se trouverait enfin amené inévitablement à cette conséquence, qu'un corps agit sur les rayons voisins de sa surface avec d'autant moins d'énergie que ces rayons viennent de plus loin; car si, en mettant le point lumineux à un centimètre de distance, la déviation angulaire est 12, elle ne s'élèvera pas tout à fait à 4, dans les circonstances pareilles, à l'égard de la lumière provenant d'une distance décuple.

Ces divers résultats, et surtout le dernier, ne peuvent se concilier avec l'idée d'une attraction. Les expériences de Fresnel anéantissent donc complétement tous les arguments qu'on avait puisés dans les phénomènes de diffraction pour établir que la lumière est une matière.

La branche importante de l'optique qui traite de l'intensité de la lumière réfléchie, transmise et absorbée par les corps, celle qu'on a désignée sous le nom de *photométrie*, est dans son enfance; elle ne se compose encore que de résultats isolés, dont on pourrait même contester l'exactitude. Les lois générales et mathématiques manquent presque complétement. Quelques essais, faits

depuis peu d'années, ont cependant conduit à une règle très-simple, qui, pour toute espèce de milieux diaphanes, lie les angles de la première et de la seconde surface, sous lesquels les réflexions sont égales.

Dans le système de l'émission, ces deux angles n'ont aucune dépendance nécessaire; le contraire a lieu si les rayons lumineux sont des ondes, et la relation que, en partant de cette hypothèse, un de nos illustres confrères a déduite de sa savante analyse est précisément celle que l'expérience avait fournie. Un tel accord entre le calcul et l'observation doit prendre place aujourd'hui parmi les plus forts arguments qu'on puisse produire à l'appui du système des vibrations.

Les interférences des rayons ont occupé une trop grande place dans cette biographie pour que je puisse me dispenser d'indiquer comment elles se rattachent aux deux théories de la lumière; or, dans la théorie de l'émission, je n'hésite pas à le dire, si l'on n'admet aucune dépendance entre les mouvements des diverses molécules lumineuses (et j'ignore quelle dépendance on pourrait vouloir établir entre des projectiles isolés), le fait et surtout les lois des interférences semblent complétement inexplicables. J'ajouterai encore qu'aucun des partisans du système de l'émission n'a tenté, dans un écrit public, de lever la difficulté, sans que j'en veuille conclure qu'elle a été dédaignée.

Quant au système des ondes, les interférences s'en déduisent si naturellement, qu'il y a quelque raison d'être étonné que les expérimentateurs les aient signalées les premiers. Pour s'en convaincre, il suffit de remarquer qu'une onde, en se propageant à travers un fluide élastique, communique aux molécules dont il se compose un mouvement oscillatoire en vertu duquel elles se déplacent successivement dans deux sens contraires: cela posé, il est évident qu'une série d'ondes détruira complétement l'effet d'une série différente, si, en chaque point du fluide, le mouvement dans un sens, que la première onde produirait isolément, coïncide avec le mouvement en sens opposé qui résulterait de la seule action de la deuxième onde. Les molécules, sollicitées simultanément par des forces égales et diamétralement opposées, restent alors en repos, tandis que, sous l'action d'une onde unique, elles eussent librement oscillé. Le mouvement a détruit le mouvement; or le mouvement, c'est de la lumière.

Je ne pousserai pas plus loin cette énumération, car on peut déjà juger sur combien de points les antagonistes du système de l'émission ont été heureux

dans leurs attaques. Les expériences si nombreuses, si variées, si délicates que j'ai citées ne témoignent pas seulement toute l'importance que la question leur semblait avoir; il faut les considérer encore comme une éclatante marque de respect envers le grand homme dont le nom s'était pour ainsi dire identifié avec la théorie qu'ils pensaient devoir rejeter. Quant au système des ondes, les newtoniens ne lui ont pas fait l'honneur de le discuter avec le même détail; il leur a semblé qu'une seule objection suffirait pour l'anéantir, et cette objection ils l'ont puisée dans la manière dont le son se propage dans l'air. Si la lumière, disent-ils, est une vibration, comme les vibrations sonores, elle se transmettra dans toutes les directions; de même qu'on entend le tintement d'une cloche éloignée quand on en est séparé par un écran qui la cache aux yeux, de même on devra apercevoir la lumière solaire derrière toute espèce de corps opaque. Tels sont les termes auxquels il faut réduire la difficulté, car l'analogie ne permettrait pas de dire que la lumière doit se répandre derrière les écrans sans perdre de son intensité, puisque le son lui-même, comme tout le monde le sait, n'y pénètre qu'en s'affaiblissant d'une manière sensible. En parlant ainsi de l'impossibilité du passage de la lumière dans l'ombre géométrique d'un corps comme d'une difficulté insurmontable, Newton et ses adhérents ne soupçonnaient certainement pas la réponse qu'elle amènerait; cette réponse est cependant directe et simple. Vous soutenez que les vibrations lumineuses doivent pénétrer dans l'ombre : eh bien, elles y pénètrent; vous dites que, dans le système des ondes, l'ombre d'un corps opaque ne serait jamais complétement obscure : eh bien, elle ne l'est jamais; elle renferme des rayons nombreux qui y donnent lieu à une multitude de curieux phénomènes dont vous pourriez avoir connaissance, car Grimaldi les avait déjà aperçus en partie avant 1633. Fresnel, et c'est là incontestablement l'une de ses plus importantes découvertes, a montré comment et dans quelles circonstances cet éparpillement de lumière s'opère; il a d'abord fait voir que, dans une onde complète qui se propage librement, les rayons sont seulement sensibles dans les directions qui, prolongées, aboutissent au point lumineux, quoique dans chacune de ses positions successives les diverses parties de l'onde primitive soient réellement elles-mêmes des centres d'ébranlement d'où s'élancent de nouvelles ondes dans toutes les directions possibles; mais ces ondes obliques, ces ondes secondaires, interfèrent les unes avec les autres, elles se détruisent entièrement; il ne reste donc que les ondes normales, et ainsi se trouve

expliquée, dans le système des vibrations, la propagation rectiligne de la lumière.

Quand l'onde primitive n'est pas entière, quand elle se trouve brisée ou interceptée par la présence d'un corps opaque, le résultat des interférences, car dans ce cas encore elles jouent un grand rôle, n'est pas aussi simple; les rayons, partant obliquement de toutes les parties de l'onde non interceptées, ne s'anéantissent plus nécessairement. Là ils conspirent avec le rayon normal, et donnent lieu à un vif éclat; ailleurs, ces mêmes rayons se détruisent mutuellement, et toute lumière a disparu. Dès qu'une onde est brisée, sa propagation s'effectue donc suivant des lois spéciales; la lumière qu'elle répand sur un écran quelconque n'est plus uniforme, elle doit se composer de stries lumineuses et obscures régulièrement placées. Si le corps opaque intercepteur n'est pas très-large, les ondes obliques qui viennent se croiser dans son ombre, donnent lieu aussi, par leurs actions réciproques, à des stries analogues mais différemment distribuées.

Je m'aperçois que, sans le vouloir, en suivant les spéculations théoriques de Fresnel, je viens de mentionner les principaux traits de ces curieux phénomènes de diffraction que j'ai déjà cités sous un autre point de vue, auxquels Newton a consacré un livre tout entier de son *Traité d'optique*. Newton avait cru ne pouvoir en rendre compte, tant ils lui semblaient difficiles à expliquer, qu'en admettant qu'un rayon lumineux ne saurait passer dans le voisinage d'un corps sans y éprouver un mouvement sinueux, qu'il comparait à celui d'une anguille. D'après les explications de Fresnel, cette étrange supposition est superflue; le corps opaque, qui semblait la cause première des stries diffractées, n'agit sur les rayons ni par attraction ni par répulsion; il intercepte seulement une partie de l'onde principale; il arrête, à raison de sa largeur, un grand nombre de rayons obliques, qui sans cela seraient allés, dans certains points de l'espace, se mêler à d'autres rayons, et interférer plus ou moins avec eux.

Dès lors, il n'est plus étonnant que le résultat, comme l'observation l'a prouvé, soit indépendant de la nature et de la masse du corps. Les maxima et les minima périodiques de lumière, tant en dehors qu'en dedans de l'ombre, se déduisent d'ailleurs de la théorie de notre confrère avec un degré de précision dont auparavant aucune recherche de physique peut-être n'avait offert un si frappant exemple. Aussi, quelque réserve qu'il soit prudent de s'imposer quand on se hasarde à parler des travaux de nos successeurs, j'oserai presque

affirmer que, à l'égard de la diffraction, ils n'ajouteront rien d'essentiel aux découvertes dont Fresnel a enrichi la science.

Les théories ne sont en général que des manières plus ou moins heureuses d'enchaîner un certain nombre de faits *déjà connus*. Mais quand toutes les conséquences *nouvelles* qu'on en fait ressortir s'accordent avec l'expérience, elles prennent une tout autre importance. Ce genre de succès n'a pas manqué à Fresnel. Ses formules de diffraction renfermaient implicitement un résultat fort étrange qu'il n'avait pas aperçu. Un de nos confrères, je n'aurai pas besoin de décliner son nom, si je dis qu'il s'est placé depuis longtemps parmi les plus grand géomètres de ce siècle, tant par une multitude d'importants travaux d'analyse pure que par les plus heureuses applications au système du monde et à la physique, aperçut d'un coup d'œil la conséquence dont je veux parler: il montra que, en admettant les formules de Fresnel, le centre de l'ombre d'un écran opaque et circulaire devait être aussi éclairé que si l'écran n'existait pas. Cette conséquence si paradoxale a été soumise à l'épreuve d'une expérience directe, et l'observation a parfaitement confirmé le calcul.

Dans la longue et difficile discussion que la nature de la lumière a fait naître, et dont je viens de tracer l'histoire, la tâche des physiciens a été à peu près épuisée. Quant à celle des géomètres, elle offre malheureusement encore quelques lacunes. J'oserais donc, si j'en avais le droit, adjurer le grand géomètre à qui l'optique est redevable de l'important résultat dont je viens de faire mention d'essayer si les formules à moitié empiriques par lesquelles Fresnel a prétendu exprimer les intensités de la lumière réfléchie sous toutes sortes d'angles et pour toute espèce de surfaces ne se déduiraient pas aussi des équations générales du mouvement des fluides élastiques. Il reste surtout à expliquer comment les diverses ondulations peuvent subir des déviations inégales à la surface de séparation des corps diaphanes.

PHARES.

Dans une Académie des sciences, si elle apprécie convenablement son mandat, l'auteur d'une découverte n'est jamais exposé à cette question décourageante qu'on lui adresse si souvent dans le monde : *à quoi bon?* Là, chacun comprend que la vie animale ne doit pas être la seule occupation de l'homme; que la culture de son intelligence, qu'une étude attentive de cette variété

infinie d'êtres animés et de matières inertes dont il est entouré, forment la plus belle partie de sa destinée.

Et d'ailleurs, lors même qu'on ne voudrait voir dans les sciences que des moyens de faciliter la reproduction des substances alimentaires, de tisser avec plus ou moins d'économie et de perfection les diverses étoffes qui servent à nous vêtir, de construire avec élégance et solidité ces habitations commodes dans lesquelles nous échappons aux vicissitudes atmosphériques, d'arracher aux entrailles de la terre tant de métaux et de matières combustibles dont les arts ne sauraient se passer, d'anéantir cent obstacles matériels qui s'opposeraient aux communications des habitants d'un même continent, d'un même royaume, d'une même ville; d'extraire et de préparer les médicaments destinés à combattre les nombreux désordres dont nos organes sont incessamment menacés, la question *à quoi bon?* porterait à faux. Les phénomènes naturels ont entre eux des liaisons nombreuses, mais souvent cachées, dont chaque siècle lègue la découverte aux siècles à venir. Au moment où ces liaisons se révèlent, des applications importantes surgissent, comme par enchantement, d'expériences qui jusque-là semblaient devoir éternellement rester dans le domaine des simples spéculations. Un fait qu'aucune utilité directe n'a encore recommandé à l'attention du public est peut-être l'échelon sur lequel un homme de génie s'appuiera, soit pour s'élever à ces vérités primordiales qui changent la face des sciences, soit pour créer quelque moteur économique que toutes les industries adopteront ensuite, et dont le moindre mérite ne sera pas de soustraire des millions d'ouvriers aux pénibles travaux qui les assimilaient à des brutes, ruinaient promptement leur santé et les conduisaient à une mort prématurée. Si, pour fortifier ces réflexions, des exemples paraissaient nécessaires, je n'éprouverais que l'embarras du choix; mais rien ne m'oblige ici d'entrer dans ces détails, car, à toutes les recherches théoriques déjà signalées, Fresnel a joint lui-même un travail important, d'une application immédiate, qui placera certainement son nom dans un rang distingué parmi ceux des bienfaiteurs de l'humanité. Ce travail, tout le monde le sait, a eu pour objet l'amélioration des phares. Je vais essayer d'en tracer l'analyse, et j'aurai terminé ainsi le tableau que je devais vous présenter de la brillante carrière scientifique de notre confrère.

Les personnes étrangères à l'art nautique sont toujours saisies d'une sorte d'effroi, lorsque le navire qui les porte, très-éloigné des continents et des îles,

a pour uniques témoins de sa marche les astres et les flots de l'Océan. La vue de la côte la plus aride, la plus escarpée, la plus inhospitalière, dissipe comme par enchantement ces craintes indéfinissables, qu'un isolement absolu avait inspirées; tandis que, pour le navigateur expérimenté, c'est près de terre seulement que commencent les dangers.

Il est des ports dans lesquels un navigateur prudent n'entre jamais sans pilote; il en existe où, même avec ce secours, on ne se hasarde pas à pénétrer de nuit. On concevra donc aisément combien il est indispensable, si l'on veut éviter d'irréparables accidents, qu'après le coucher du soleil, des signaux de feu bien visibles avertissent, dans toutes les directions, du voisinage de la terre; il faut de plus que chaque navire aperçoive le signal d'assez loin pour qu'il puisse trouver, dans des évolutions souvent fort difficiles, les moyens de se maintenir à quelque distance du rivage jusqu'au moment où le jour paraîtra. Il n'est pas moins désirable que les divers feux qu'on allume dans une certaine étendue des côtes ne puissent pas être confondus, et que, à la première vue de ces signaux hospitaliers, le navigateur qu'un ciel peu favorable a privé pendant quelques jours de tout moyen assuré de diriger sa route sache, par exemple, en revenant d'Amérique, s'il doit se préparer à pénétrer dans la Gironde, dans la Loire ou dans le port de Brest.

A cause de la rondeur de la terre, la portée d'un phare dépend de sa hauteur. A cet égard, on a toujours obtenu sans difficulté l'amplitude que les besoins de la navigation exigeaient : c'était une simple question de dépense. Tout le monde sait, par exemple, que le grand édifice dont le fameux architecte Sostrate de Cnide décora, près de trois siècles avant notre ère, l'entrée du port d'Alexandrie, et que la plupart des phares construits par les Romains s'élevaient bien au-dessus des tours modernes les plus célèbres. Mais, sous les rapports optiques, ces phares étaient peu remarquables; les faibles rayons qui partaient des feux de bois ou de charbon de terre allumés en plein air à leurs sommets ne devaient jamais traverser les épaisses vapeurs qui, dans tous les climats, souillent les basses régions de l'atmosphère.

Naguère encore, quant à la force de la lumière, les phares modernes étaient à peine supérieurs aux anciens. La première amélioration importante qu'ils aient reçue date de la lampe à double courant d'air d'Argant, invention admirable, qui serait beaucoup mieux appréciée si, de même que nos musées renferment les œuvres des siècles de décadence, dans un but purement histo-

rique, les conservatoires industriels offraient de temps à autre aux regards du public les moyens d'éclairage si ternes, si malpropres, si nauséabonds, qu'on employait il y a cinquante ans, à côté de ces lampes élégantes dont la lumière vive et pure le dispute à celle d'un beau jour d'été.

Quatre ou cinq lampes à double courant d'air réunies donneraient, sans aucun doute, autant de clarté que les larges feux qu'entretenaient les Romains, à si grands frais, sur les tours élevées d'Alexandrie, de Pouzzoles, de Ravenne: mais, en combinant ces lampes avec des miroirs réfléchissants, leurs effets naturels peuvent être prodigieusement agrandis. Les principes de cette dernière invention doivent nous arrêter un instant, car ils nous feront apprécier les travaux de Fresnel à leur juste valeur.

La lumière des corps enflammés se répand uniformément dans toutes les directions. Une portion tombe vers le sol, où elle se perd; une portion différente s'élève et se dissipe dans l'espace; le navigateur dont vous voulez éclairer la route profite des seuls rayons qui se sont élancés à peu près horizontalement de la lampe vers la mer; tous les rayons, même horizontaux, dirigés du côté de la terre ont été produits en pure perte.

Cette zone de rayons horizontaux forme non-seulement une très-petite partie de la lumière totale; elle a de plus le grave inconvénient de s'affaiblir beaucoup par divergence, de ne porter au loin qu'une lueur à peine sensible. Détruire cet éparpillement fâcheux, profiter de toute la lumière de la lampe, tel était le double problème qu'on avait à résoudre pour étendre la portée ou l'utilité des phares. Les miroirs métalliques profonds connus sous le nom de *miroirs paraboliques* en ont fourni une solution satisfaisante.

Quand une lampe est placée au foyer d'un tel miroir, tous les rayons qui en émanent sont ramenés, par la réflexion qu'ils éprouvent sur les parois, à une direction commune; leur divergence primitive est détruite: ils forment, en sortant de l'appareil, un cylindre de lumière parallèle à l'axe du miroir. Ce faisceau se transmettrait aux plus grandes distances avec le même éclat si l'atmosphère n'en absorbait pas une partie.

Avant d'aller plus loin, hâtons-nous de le reconnaître, cette solution n'est pas sans inconvénient. On ramène bien ainsi vers l'horizon de la mer une multitude de rayons qui auraient été se perdre sur le sol, vers l'espace ou dans l'intérieur des terres. On anéantit même la divergence primitive de ceux de ces rayons qui naturellement se portaient vers le navigateur; mais le cylindre

de lumière réfléchie n'a plus que la largeur du miroir; la zone qu'il éclaire a précisément les mêmes dimensions à toute distance, et, à moins qu'on n'emploie beaucoup de miroirs pareils diversement orientés, l'horizon contient de nombreux et larges espaces complétement obscurs, où le pilote ne reçoit jamais aucun signal. On a vaincu cette grave difficulté en imprimant, à l'aide d'un mécanisme d'horlogerie, un mouvement uniforme de rotation au miroir réfléchissant. Le faisceau lumineux sortant de ce miroir est alors successivement dirigé vers tous les points de l'horizon; chaque navire aperçoit un instant et voit ensuite disparaître la lumière du phare; et si dans une grande étendue de côte, de Bayonne à Brest, par exemple, il n'existe pas deux mouvements de rotation de même durée, tous les signaux sont, pour ainsi dire, individualisés. D'après l'intervalle qui s'écoule entre deux apparitions ou deux éclipses successives de la lumière, le navigateur sait toujours quelle partie de la côte est en vue: il ne se trouve plus exposé à prendre pour un phare telle planète, telle étoile de première grandeur voisine de son lever ou de son coucher, ou bien ces feux accidentels allumés sur la côte par des pêcheurs, des bûcherons ou des charbonniers; méprises fatales, qui souvent ont été la cause des plus déplorables naufrages [a].

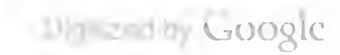
Une lentille diaphane ramène au parallélisme tous les rayons lumineux qui la traversent, quel que soit leur degré primitif de divergence, pourvu que ces rayons partent d'un point convenablement situé, qu'on appelle *le foyer*. Des lentilles de verre peuvent donc être substituées aux miroirs, et en effet un phare lenticulaire avait été exécuté depuis longtemps en Angleterre [b], dans l'idée, au premier aspect très-plausible, qu'il serait beaucoup plus brillant que les phares à réflecteurs. L'expérience toutefois était venue démentir ces prévisions; les miroirs, malgré l'énorme perte de rayons qui se faisait à leur surface dans l'acte de la réflexion, portaient à l'horizon des feux plus intenses; les lentilles furent donc abandonnées.

Les auteurs inconnus de cette tentative avortée avaient marché au hasard.

---

[a] Les méprises de ce genre sont beaucoup plus rares que celles qui font prendre un phare pour un autre. C'est surtout à l'effet de prévenir celles-ci que l'on a eu recours aux *appareils à éclipse;* mais leurs apparences n'ont pas pu être assez variées ni d'une manière assez tranchée pour dispenser de l'emploi de *feux fixes* intermédiaires.

[b] Le phare de Portland.



En s'occupant du même problème, Fresnel, avec sa pénétration habituelle, aperçut du premier coup d'œil où gisait la difficulté. Il vit que des phares lenticulaires ne deviendraient supérieurs aux phares à réflecteurs qu'en augmentant considérablement l'intensité de la flamme éclairante, qu'en donnant aux lentilles d'énormes dimensions, qui semblaient dépasser tout ce qu'on pouvait attendre d'une fabrication ordinaire. Il reconnut encore que ces lentilles devraient avoir un très-court foyer; qu'en les exécutant suivant les formes habituelles, elles auraient une grande épaisseur et peu de diaphanéité, que leur poids serait considérable, qu'il fatiguerait beaucoup les rouages destinés à faire tourner tout le système, et qu'il en amènerait promptement la destruction.

On évite cette épaisseur excessive des lentilles ordinaires, leur énorme poids et le manque de diaphanéité qui en seraient les conséquences, en les remplaçant par des lentilles d'une forme particulière, que Buffon avait imaginées pour un tout autre objet, et qu'il appelait des *lentilles à échelons*. Il est possible aujourd'hui de construire les plus grandes lentilles de cette espèce, quoiqu'on ne sache pas encore fabriquer d'épaisses masses de verre exemptes de défauts. Il suffit de les composer d'un certain nombre de petites pièces distinctes, comme Condorcet l'avait proposé.

Je pourrais affirmer ici que, au moment où l'idée des lentilles à échelons se présenta à l'esprit de Fresnel, il n'avait jamais eu connaissance des projets antérieurs de Buffon et de Condorcet; mais des réclamations de cette nature n'intéressent que l'amour-propre de l'auteur : elles n'ont point de valeur pour le public. A ses yeux, il n'y a, je dirai plus, il ne doit y avoir qu'un seul inventeur : celui qui le premier a fait connaître la découverte. Après une aussi large concession, il me sera du moins permis de remarquer qu'en 1820 il n'existait pas encore une seule lentille à échelons dans les cabinets de physique; que d'ailleurs, jusque-là, on les avait envisagées seulement comme des moyens de produire de grands effets calorifiques; que c'est Fresnel qui a créé des méthodes pour les construire avec exactitude et économie; que c'est lui enfin, et lui tout seul, qui a songé à les appliquer aux phares. Toutefois, cette application, je l'ai déjà indiqué, n'aurait conduit à aucun résultat utile, si on ne l'eût pas combinée avec des modifications convenables de la lampe, si la puissance de la flamme éclairante n'avait pas été considérablement augmentée. Cette importante partie du système exigeait des études spéciales, des

expériences nombreuses et assez délicates. Fresnel et un de ses amis (Arago) s'y livrèrent avec ardeur, et leur commun travail conduisit à une lampe à plusieurs mèches concentriques, dont l'éclat égalait vingt-cinq fois celui des meilleures lampes à double courant d'air [a].

Dans les phares à lentilles de verre imaginés par Fresnel, chaque lentille envoie successivement vers tous les points de l'horizon une lumière équivalente à celle de 3,000 à 4,000 lampes à double courant d'air réunies; c'est huit fois ce que produisent les beaux réflecteurs paraboliques argentés dont nos voisins font usage; c'est aussi l'éclat qu'on obtiendrait en rassemblant le tiers de la quantité totale des lampes à gaz qui tous les soirs éclairent les rues, les magasins et les théâtres de Paris. Un tel résultat ne paraîtra pas sans importance si l'on veut bien remarquer que c'est avec une seule lampe qu'on l'obtient. En voyant d'aussi puissants effets, l'administration s'empressa d'autoriser Fresnel à faire construire un de ses appareils, et elle désigna la tour élevée de Cordouan, à l'embouchure de la Gironde, comme le point où il serait installé. Le nouveau phare était déjà construit dès le mois de juillet 1823.

Le phare de Fresnel a déjà eu pour juges, durant sept années consécutives, cette multitude de marins de tous les pays qui fréquentent le golfe de Gascogne. Il a été aussi étudié soigneusement sur place par de très-habiles ingénieurs, venus tout exprès du nord de l'Écosse avec une mission spéciale du gouvernement anglais. Je serai ici l'interprète des uns et des autres en affirmant que la France, où déjà l'importante invention des feux tournants avait pris naissance, possède maintenant, grâce aux travaux de notre savant confrère, les plus beaux phares de l'univers. Il est toujours glorieux de marcher à la tête des sciences; mais on éprouve surtout une vive satisfaction à réclamer le premier rang pour son pays, quand il s'agit d'une de ces applications heureuses auxquelles toutes les nations sont appelées à prendre une part égale, et dont l'humanité n'aura jamais à gémir [b].

---

[a] Voyez t. III, N° VIII (B), p. 127.

[b] Ce précis historique de l'invention du nouveau système de phares présente deux lacunes que nous croyons essentiel de signaler.

La première, et la moins importante, concerne les *appareils dioptriques à feu fixe,* dont la partie principale, c'est-à-dire le *tambour central,* composée d'éléments annulaires superposés, est engendrée par la révolution du *profil lenticulaire échelonné* tournant autour de l'axe focal

Il existe déjà aujourd'hui, sur l'Océan et la Méditerranée, douze phares plus ou moins puissants, construits d'après les principes de Fresnel. Pour compléter le système général d'éclairage de nos côtes, trente nouveaux phares paraissent encore nécessaires. Tout fait espérer que ces importants travaux seront exécutés promptement, et qu'on s'écartera le moins possible de l'heureuse direction imprimée à ce service par notre confrère. La routine et les préjugés seraient ici sans pouvoir, puisque les intéressés, les véritables juges, les marins de toutes les nations, ont unanimement proclamé la supériorité du nouveau système. On ne saurait alléguer des motifs d'économie; car, à égalité d'effet, les phares lenticulaires n'exigent pas autant d'huile que les anciens, sont d'un entretien beaucoup moins dispendieux, et ils procureront en définitive à l'État une économie annuelle d'environ un demi-million [a]...................

VIE ET CARACTÈRE DE FRESNEL. — SA MORT.

Les nombreuses découvertes dont je viens de présenter l'analyse ont été faites dans le court intervalle de 1815 à 1826, sans que les travaux confiés à Fresnel, soit comme ingénieur du pavé de Paris, soit comme secrétaire de la Commission des phares, en aient jamais souffert; mais aussi notre confrère

---

parallèle à son côté rectiligne. — Cette combinaison physico-géométrique des plus simples ne constituait pas sans doute une nouvelle invention proprement dite; mais sa réalisation présentait de graves difficultés, qui ont été, comme toujours, heureusement surmontées par Fresnel. (Voyez t. III, N° XVI et N° XVII.)

La seconde lacune, d'une tout autre conséquence, est relative aux *appareils catadioptriques*, dans lesquels des anneaux de verre à section prismatique réfractent et *réfléchissent totalement*, pour les projeter à l'horizon, les rayons focaux divergeant au-dessus et au-dessous du tambour dioptrique central.

Le silence absolu que garde, sur cette invention capitale, le présent Éloge historique ne peut guère s'expliquer qu'en supposant qu'Arago, absorbé par les douloureuses préoccupations que lui causait le déplorable état de son ami, aura négligé de se tenir au courant de ses derniers travaux, et aura laissé passer inaperçue l'ingénieuse combinaison qui, comme nous l'avons souvent répété, a porté le système des phares lenticulaires au plus haut degré de perfection théorique et pratique.

[a] On conçoit qu'il ne s'agit pas d'économie *absolue*, mais de l'économie *relative* à un même *effet utile;* au surplus, la question financière est ici dominée par des considérations d'un tout autre ordre.

s'était entièrement soustrait à toutes ces occasions de désœuvrement dont Paris, plus qu'une autre ville, abonde, et que ceux qui s'y livrent sans réserve appellent des devoirs de société, afin d'apaiser leur conscience et de s'expliquer à eux-mêmes comment leur temps est si mal employé. Une vie de cabinet, une vie tout intellectuelle convenait au reste très-peu à la frêle constitution de Fresnel. Cependant les soins empressés que sa respectable famille lui prodiguait; ce contentement intérieur de l'homme de bien, dont personne ne méritait de jouir à plus juste titre, et qui réagit si puissamment sur la santé; son extrême sobriété enfin, faisaient espérer qu'il serait longtemps conservé aux sciences. Les émoluments des deux positions occupées par Fresnel, ceux d'ingénieur et d'académicien, auraient amplement suffi à ses modestes désirs, si le besoin des recherches scientifiques n'avait pas été chez lui une seconde nature; la construction et l'achat des instruments délicats sans lesquels aujourd'hui on ne saurait en physique rien produire d'exact absorbaient tous les ans une partie de son patrimoine. Il songea donc à se créer de nouvelles ressources. La place, si médiocrement rétribuée, d'examinateur temporaire des élèves de l'École polytechnique se présenta: Fresnel l'obtint; mais ses amis ne tardèrent pas à reconnaître qu'il avait trop présumé de ses forces, que l'ardeur avec laquelle il remplissait ses nouvelles fonctions, que les inquiétudes vraiment exagérées dont il était saisi quand il fallait classer les élèves par ordre de mérite, altéraient gravement une santé déjà si chancelante; et toutefois comment conseiller un désistement d'où serait inévitablement résulté l'abandon d'une multitude de glorieux travaux? Sur ces entrefaites, l'une des plus belles places scientifiques, parmi toutes celles dont le gouvernement dispose, la place d'examinateur des élèves de la Marine vint à vaquer. Cette place n'exige qu'un travail modéré. Le voyage annuel qu'elle nécessite était, aux yeux des médecins, une raison de plus pour désirer que Fresnel l'obtînt. Il se détermina donc à se mettre sur les rangs; car alors tout le monde croyait qu'il n'y avait aucune inconvenance à demander un emploi auquel de longues études vous rendaient propre et qu'on aurait rempli avec conscience. Les gens de lettres s'imaginaient que, en s'imposant les plus pénibles travaux, ils pourraient sans crime aspirer à jouir, dans leur vieillesse, de cette indépendance que le moindre artisan de Paris est sûr d'obtenir un jour, pour peu qu'il soit laborieux et rangé. Personne encore n'avait soutenu qu'en toute chose il n'y eût pas convenance et profit à nommer le plus digne. La gloire que les Lagrange, les Laplace,

les Legendre répandaient sur le Bureau des longitudes et sur l'Académie semblait pouvoir se concilier avec les éminents services que, à d'autres titres, ces illustres géomètres rendaient à l'École polytechnique. Dans les cours publics, les élèves demandaient à leurs professeurs d'être zélés, lucides, méthodiques; mais on ne leur conseillait pas encore de s'enquérir si d'autres auditeurs, dans un établissement différent, avaient déjà reçu des leçons de la même bouche. Les sciences enfin ne paraissaient pas un vain luxe, et l'on pensait que Papin inventant la machine à vapeur, que Pascal signalant la presse hydraulique, que Lebon imaginant l'éclairage au gaz, que Berthollet créant le blanchiment au chlore, que Leblanc enseignant à tirer du sel marin la soude, qu'anciennement il fallait aller demander à l'étranger, au prix de tant de trésors, avaient noblement payé à la société la dette de la science.

Si l'on devait en croire quelques personnes dont il me semblerait plus aisé de louer les intentions que les lumières, je viendrais d'énumérer une longue série de préjugés, et j'aurais ici à excuser l'auteur de tant de belles découvertes, le créateur d'un nouveau système de phares, le savant dont les navigateurs béniront éternellement le nom, d'avoir désiré (je ne reculerai pas devant l'expression usitée), par le *cumul* de deux places, se procurer un revenu annuel et viager de 12,000 francs, dont la plus grande partie eût été certainement consacrée à de nouvelles recherches. L'apologie de notre confrère, je ne crois pas me faire illusion, serait une tâche facile; mais je puis l'omettre : Fresnel n'obtint point l'emploi qu'il sollicitait, et cela par des motifs que je laisserais volontiers dans l'oubli, s'ils ne me donnaient l'occasion de montrer que les gens de lettres, dont récemment on a essayé de flétrir le caractère, en les représentant comme des harpies courant sans règle et sans mesure à la curée du budget, savent aussi renoncer noblement aux plus beaux emplois, à ceux-là même qu'ils pourraient réclamer comme une dette sacrée, aussitôt que leur dignité y est intéressée.

J'ai déjà dit combien les fonctions d'examinateur à l'École polytechnique compromettaient la santé de Fresnel, combien il devait désirer que sa demande d'une place moins pénible fût accueillie. L'incontestable supériorité de ses titres scientifiques, le désistement de tous ses compétiteurs, les démarches d'un de nos honorables confrères, l'un des plus grands géomètres de ce siècle, enfin les pressantes démarches de M. Becquey, qui en toute occasion traita Fresnel avec la bienveillance d'un père, avaient aplani divers obstacles. Le ministre

de qui la place dépendait s'était, dans sa jeunesse, occupé de l'étude des sciences d'une manière distinguée, et il en avait conservé le goût; il désira voir notre confrère, et dès ce moment sa nomination nous parut assurée; car les manières réservées de Fresnel, la douceur de ses traits, la modestie sans apprêt de son langage, lui conciliaient sur-le-champ la bienveillance de ceux-là même qui ne connaissaient pas ses travaux. Mais, hélas! à la suite des discordes civiles, à combien de mécomptes n'est-on pas exposé, quand on veut juger de ce qui sera par ce qui devrait être! Combien de petites circonstances, d'intérêts mesquins, d'éléments hétérogènes, viennent alors se mêler aux affaires les plus simples, et prévaloir sur des droits incontestables! Pour ma part, je ne saurais dire à quelle occasion le ministre, s'adressant au volontaire royal de la Drôme, posa la question suivante, en l'avertissant, sans détour, que de la réponse qu'il ferait dépendait sa nomination : « Monsieur, êtes-vous véritablement des nôtres? — Si j'ai bien compris, Monseigneur, je répondrai qu'il n'existe personne qui soit plus dévoué que moi à l'auguste famille de nos rois et aux sages institutions dont la France lui est redevable. — Tout cela, Monsieur, est trop vague; nous nous entendrons mieux avec des noms propres. A côté de quels membres de la Chambre siégeriez-vous, si vous deveniez député? — Monseigneur, répondit Fresnel sans hésiter, à la place de Camille Jordan[a], si j'en étais digne. — Grand merci de votre franchise, » répliqua le ministre. Et le lendemain un inconnu fut nommé examinateur de la marine. Fresnel reçut cet échec sans proférer une plainte. Dans son esprit, la question personnelle s'était entièrement effacée à côté de la peine qu'il éprouvait, en voyant, après trente années de débats et de troubles, les passions politiques encore si peu amorties. Lorsqu'un ministre dont les qualités privées auraient droit aux hommages des gens de bien de tous les partis se croyait obligé de demander à un examinateur en matière de science, non des preuves d'incorruptibilité, de zèle et de savoir, mais l'assurance que, s'il lui arrivait par hasard de devenir un jour député, il n'aurait pas l'intention d'aller s'asseoir à côté de Camille Jordan, un bon citoyen pouvait craindre que notre avenir ne fût pas exempt d'orages.

Le corps enseignant de l'École polytechnique, sous tous les régimes, a peu

---

[a] Ajoutez : *près de Royer-Collard* (d'après nos souvenirs, peut-être plus précis à cet égard que ceux d'Arago).



souffert de ces influences politiques. Là l'examinateur et le professeur doivent journellement payer de leur personne; là, sous les yeux d'une pépinière d'auditeurs habiles, et quelque peu enclins à la malice, des épures inexactes, de faux calculs, de mauvaises expériences de chimie et de physique, chercheraient vainement un refuge sous le manteau des opinions du jour. Fresnel pouvait donc espérer que, malgré sa récente profession de foi, on ne lui retirerait pas la place d'examinateur temporaire. Cette place d'ailleurs est extrêmement pénible, et, l'expérience l'a suffisamment montré, ce sont les sinécures surtout qu'on poursuit avec ardeur. Fresnel reprit donc ses anciennes fonctions; mais, à la suite des examens de 1824, une attaque d'hémoptysie vint le condamner à la retraite et vivement alarmer ses amis. A partir de ce moment, notre malheureux confrère fut obligé d'abandonner toute recherche scientifique qui demandait de l'assiduité, et de consacrer au service des phares le peu de moments de relâche que sa maladie lui laissait. Les soins les plus tendres, les plus empressés, devinrent bientôt impuissants contre les rapides progrès du mal. On résolut alors d'essayer les effets de l'air de la campagne. Ce projet de déplacement était, hélas! un indice trop évident du découragement qu'éprouvait le médecin habile auquel Fresnel avait donné sa confiance. Cependant, pour ne point affliger sa famille, notre malheureux confrère eut la condescendance de paraître espérer encore, et, au commencement de juin 1827, on le transporta à Ville-d'Avray. Là il vit approcher la mort avec le calme et la résignation d'un homme dont toute la conduite a été sans reproche. Un jeune ingénieur très-distingué, M. Duleau, trouva dans la vive amitié qui l'unissait à notre confrère la force de s'associer aux tristes soins dont il était l'objet : il alla aussi s'établir à Ville-d'Avray. C'est M. Duleau qui nous apprit le premier combien peu Fresnel se faisait illusion sur son état. « J'eusse dé« siré, » s'écriait-il quelquefois, quand la présence d'une mère et d'un frère qu'agitaient de si poignantes inquiétudes ne lui commandait pas une réserve que sa tendresse n'enfreignit jamais; « j'eusse désiré vivre plus longtemps, car « je sens qu'il y a, dans l'inépuisable carrière des sciences, un grand nombre de « questions d'utilité publique dont peut-être j'aurais eu le bonheur de trouver « la solution. »

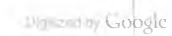
Fresnel habitait déjà la campagne lorsque la Société royale de Londres me chargea de lui présenter la médaille de Rumford. Ses forces, alors presque épuisées, lui permirent à peine de jeter un coup d'œil sur ce signe, si rare-

ment accordé, de l'estime de l'illustre Société. Toutes ses pensées s'étaient tournées vers sa fin prochaine, tout l'y ramenait. «Je vous remercie, me «dit-il d'une voix éteinte, d'avoir accepté cette mission; je devine combien «elle a dû vous coûter; car vous avez ressenti, n'est-ce pas, que la plus belle «couronne est peu de chose quand il faut la déposer sur la tombe d'un «ami?»

Hélas! ces douloureux pressentiments ne tardèrent pas à s'accomplir. Huit jours encore s'étaient à peine écoulés, et la patrie perdait l'un de ses plus vertueux citoyens; l'Académie, l'un de ses membres les plus illustres; le monde savant, un homme de génie.

En apprenant la mort prématurée de Côtes, jeune géomètre dont les premiers travaux faisaient concevoir de grandes espérances, Newton prononça ces mots si simples, si expressifs, que l'histoire des sciences a recueillis : «Si Côtes «eût vécu, nous saurions quelque chose.» Dans la bouche de Newton, ce court éloge pouvait se passer de commentaire; il appartient au génie de dicter de tels arrêts; on l'en croira toujours sur parole. Quant à moi, Messieurs, dépourvu de toute autorité, j'ai dû me traîner péniblement sur de bien minutieux détails, car j'avais, non à dire, mais à prouver *que nous savons quelque chose, quoique Fresnel ait peu vécu.*

FIN DU TROISIÈME ET DERNIER VOLUME.



TABLES ANALYTIQUES

DES

ŒUVRES D'AUGUSTIN FRESNEL[a].

[a] La forme *alphabétique* a paru inapplicable à une *Table analytique complète* de la présente publication. Si l'on considère en effet que ce recueil ne se compose, à peu d'exceptions près, que d'écrits relatifs à la *Théorie de la Lumière* et aux *Phares*, on concevra quelle étendue démesurée prendrait la série des chiffres de pagination répondant aux articles principaux, tels que *Lumière, Éther, Vibrations, Diffraction, Interférences, Polarisation, Appareils lenticulaires*, etc. et quelle confusion en résulterait. — Il ne nous restait donc d'autre parti à prendre que de dresser, comme nous l'avons fait, pour chacun de nos trois volumes, une *table analytique méthodique*. Nous nous sommes d'ailleurs attaché, dans le but de faciliter les recherches, à faire ressortir autant que possible les articles offrant le plus d'intérêt au double point de vue scientifique et historique. — Les écrits d'auteurs étrangers sont distingués par un astérisque *.



TABLE ANALYTIQUE

DU TOME I.

THÉORIE DE LA LUMIÈRE.

PREMIÈRE SECTION.

DIFFRACTION ET INTERFÉRENCES.

NUMÉROS et PARAGRAPHES. PAGES.

IV. COMPLÉMENT AU MÉMOIRE SUR LA DIFFRACTION,

adressé au secrétaire de la première Classe de l'Institut, le 15 octobre 1815.

V (A). A. FRESNEL À ARAGO.

Mathieu, le 12 novembre 1815.

V (B). A. FRESNEL À ARAGO.

Mathieu, le 20 novembre 1815.

V (C). A. Fresnel à Arago.

Rennes, le 3 décembre 1815.

VI. * Note d'Arago sur un phénomène remarquable qui s'observe dans la Diffraction de la lumière,

lue à l'Institut le 26 février 1816 (a).

IX. * Remarques d'Arago sur l'influence mutuelle de deux faisceaux lumineux qui se croisent sous un très-petit angle.

[*Annales de chimie et de physique*, cahier de mars 1816.]

Après avoir rappelé les recherches de Grimaldi, Hooke, Newton et

---

X. Supplément au deuxième Mémoire sur la Diffraction de la lumière,

présenté à l'Académie des sciences le 15 juillet 1816.

XI. NOTE SUR LA THÉORIE DE LA DIFFRACTION,

déposée sous forme de *pli cacheté* à la séance académique du 20 avril 1818 (a).

Fragments et Notes diverses relatifs aux interférences et à la Diffraction.

XII (A). Note sur les effets produits par des rayons qui se croisent sous un très-petit angle.

XII (B). Note sur les franges produites par deux miroirs.

DE LA RÉFLEXION.

XII (H). SECONDE NOTE SUR LA RÉFLEXION.

XII (I). NOTE SUR LA RÉFLEXION ET LA RÉFRACTION CONSIDÉRÉES DANS LE SYSTÈME DE L'ÉMISSION.

(*) Nous nous bornons à reproduire les conclusions de ce Rapport, dont l'analyse eût formé, à beaucoup d'égards, double emploi avec celle du Mémoire couronné par l'Académie.

XIV. MÉMOIRE SUR LA DIFFRACTION DE LA LUMIÈRE, COURONNÉ PAR L'ACADÉMIE DES SCIENCES.

INTRODUCTION.

DIFFRACTION DE LA LUMIÈRE.

SECTION I.

THÉORIE DE LA LUMIÈRE.

DEUXIÈME SECTION.

CONSTITUTION

ET PROPRIÉTÉS DE LA LUMIÈRE POLARISÉE.



XVII. SUPPLÉMENT AU MÉMOIRE SUR LES MODIFICATIONS QUE LA RÉFLEXION IMPRIME À LA LUMIÈRE POLARISÉE (α).

NOTES ET FRAGMENTS SUR L'ACTION QUE LES RAYONS POLARISÉS EXERCENT L'UN SUR L'AUTRE, ET SUR LA POLARISATION MOBILE.

XIX (B). Note extraite du Mémoire sur les couleurs que la polarisation développe dans les lames cristallisées parallèles à l'axe.

Expérience de diffraction qui démontre que les deux systèmes d'ondes en lesquels se divise la lumière en traversant une lame mince de chaux sulfatée sont polarisés, l'un parallèlement, l'autre perpendiculairement à l'axe.

Deux moitiés d'une lame de sulfate de chaux ont été fixées devant les deux fentes d'une feuille de cuivre, en tournant les axes à angle droit, et en ayant soin que les deux faisceaux ne traversassent pas la même lame; puis ces mêmes *lames accouplées* ont été placées devant deux glaces sans tain, légèrement inclinées entre elles, le

---

(*) On a cru pouvoir se dispenser de présenter, de ce Rapport, une analyse, qui eût formé, à beaucoup d'égards, double emploi avec ce qui précède et avec ce qui suit.

XXII. NOTE SUR LE CALCUL DES TEINTES QUE LA POLARISATION DÉVELOPPE DANS LES LAMES CRISTALLISÉES.


NUMÉROS
et
PARAGRAPHES.

XXIV. RÉSUMÉ D'UN MÉMOIRE SUR LA RÉFLEXION DE LA LUMIÈRE.

lu à l'Académie des sciences le 15 novembre 1819

XXVI. NOTE SUR LA DOUBLE RÉFRACTION DU VERRE COMPRIMÉ,

lue à l'Académie des sciences le 16 septembre 1822.

XXVII. Extrait d'un Mémoire sur la double réfraction particulière que présente le cristal de roche dans la direction de son axe.

XXVIII. Mémoire sur la double réfraction que les rayons lumineux éprouvent en traversant les aiguilles de cristal de roche parallèlement à l'axe,

présenté à l'Académie des sciences le 9 décembre 1822.

FIN DE LA TABLE ANALYTIQUE DU TOME PREMIER.

TABLE ANALYTIQUE

DU TOME II.

THÉORIE DE LA LUMIÈRE.

TROISIÈME SECTION.

EXPOSITION SYSTÉMATIQUE

DE LA THÉORIE DES ONDULATIONS, ET CONTROVERSE.



De la double réfraction et de la polarisation.

NUMÉROS et PARAGRAPHES. PAGES.

XXXI. COLORATION DES LAMES CRISTALLISÉES.

(*) Numéro manquant dans le texte imprimé.

XXXIII. Quelques observations sur les principales objections de Newton contre le système des vibrations lumineuses, et sur les difficultés que présente son hypothèse des accès.

[Extrait de la *Bibliothèque univ. de Genève*, t. XXII, p. 73. 1823.]

NUMÉROS et PARAGRAPHES. PAGES.

XXXIV (D). * EXTRAIT D'UN MÉMOIRE DE POISSON

SUR LA PROPAGATION DU MOUVEMENT DANS LES FLUIDES ÉLASTIQUES,

lu à l'Académie des sciences le 24 mars 1823.

[a-b] Ces deux chiffres manquent dans le texte imprimé.

THÉORIE DE LA LUMIÈRE.

QUATRIÈME SECTION.

DOUBLE RÉFRACTION.



XXXIX. Extrait d'un Mémoire sur la double réfraction (α).

lu à l'Institut le 26 novembre 1821.

RETOUR DES ONDES SUR ELLES-MÊMES.

DÉMONSTRATION DE CE QUI A ÉTÉ DIT TOUCHANT LA DISPERSION DANS LE PREMIER MÉMOIRE (N° XXXVIII, § 31, note).

Nouvelles expériences sur la topaze.

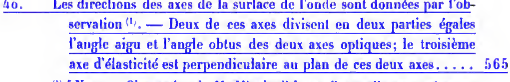
Dans la *topaze blanche*, sur laquelle ont porté les trois premières observations, avaient été taillées *deux plaques* ayant, à très-peu près, même épaisseur. — La *grande* avait ses faces travaillées *parallèles aux plans de clivage*, c'est-à-dire perpendiculaires à l'axe des z (suivant la notation du Mémoire), et la *petite*, perpendiculaire à l'axe des y. — L'auteur fait observer que, n'ayant pas à sa disposition un appareil qui donnât les moyens d'incliner les plaques dans divers plans, sans les déplacer, et de mesurer les *changements d'azimut* aussi bien que les incidences, il n'a pu atteindre à la précision dont les *mesures de diffraction* sont susceptibles. — Il eût



CALCUL TRÈS-SIMPLE QUI CONDUIT DE L'ÉQUATION D'UN ELLIPSOÏDE À CELLE DE LA SURFACE DES ONDES.

LA CONSTRUCTION D'HUYGHENS QUI DÉTERMINE LE CHEMIN DE PLUS PROMPTE ARRIVÉE, OU LA DIRECTION DU RAYON RÉFRACTÉ, S'APPLIQUE AUX CRISTAUX À DEUX AXES, COMME AU SPATH CALCAIRE ET, EN GÉNÉRAL, À TOUTES LES ONDES DE FORME QUELCONQUE.

DÉTERMINATION DES AXES D'ÉLASTICITÉ ET DES TROIS CONSTANTES a, b ET c DE L'ÉQUATION DE L'ONDE.





NUMÉROS et PARAGRAPHES. PAGES.

[*] N'ayant eu d'autre but, dans la rédaction de ces *Tables analytiques*, que de faciliter les recherches, nous nous sommes borné, pour ce *Commentaire*, au simple énoncé des théorèmes et des problèmes qui en font l'objet.

THÉORIE DE LA LUMIÈRE.

CINQUIÈME SECTION.

QUESTIONS DIVERSES D'OPTIQUE.

NOTES RELATIVES AUX PROPRIÉTÉS OPTIQUES DES CRISTAUX.

NUMÉROS et PARAGRAPHES. PAGES.

LI. Réponse.

Deuxième question et troisième question.

Réponse.

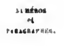


MÉLANGES ET EXTRAITS.

NOTES SUR DIVERSES QUESTIONS DE PHYSIQUE.

Extraits de divers Mémoires

insérés dans le Bulletin de la Société philomathique et dans le Bulletin des sciences de Férussac.



PAGES.

RAPPORTS ACADÉMIQUES.

Correspondance scientifique.

LVI. Extraits de la correspondance d'A. Fresnel avec Th. Young, et lettres y relatives.

[Du 24 mai 1816 au 2 septembre 1827.]

LVII. Correspondance d'A. Fresnel avec F. Arago.

[De 1816 à 1826.]

LVIII. Correspondance d'A. Fresnel avec divers.

[Du 21 septembre 1822 au 1er décembre 1826.]

LIX. Correspondance d'A. Fresnel avec sa famille.

[Du 10 février 1810 au 13 juin 1821.]

FIN DE LA TABLE ANALYTIQUE DU TOME II.

TABLE ANALYTIQUE

DU TOME III.

Phares et Appareils d'éclairage.

RÉFLECTEUR À DOUBLE EFFET DE BORDIER-MARCET,

COMPARÉ AUX RÉFLECTEURS PARABOLIQUES ORDINAIRES.



Nouveau système de phares.

VIII (A). Mémoire sur un nouveau système d'éclairage des phares,

lu à l'Académie des sciences le 29 juillet 1822 (α).

VIII (B). Note sur les becs à mèches concentriques,

extraite des *Annales de chimie et de physique,* cahier du mois d'avril 1821.

VIII (C). EXPLICATION DES PLANCHES.

VIII (D). PROCÈS-VERBAL DE L'EXPÉRIENCE FAITE PAR LA COMMISSION DES PHARES SUR L'APPAREIL DESTINÉ À L'ÉCLAIRAGE DU PHARE DE CORDOUAN.

[20 août 1822.]

(*) Il a paru inutile de produire pour cet Extrait une analyse qui eût fait double emploi avec celle du N° VIII (A).

NUMÉROS et PARAGRAPHES. PAGES.

X (C). Réponse aux questions du baron de Fagel,

ministre des Pays-Bas.

[3 mai et 1er septembre 1824.]

X (D). Notes sur le calcul des lentilles échelonnées.

[Extraites des minutes de calculs d'A. Fresnel (α).]

RENOUVELLEMENT DE L'APPAREIL D'ÉCLAIRAGE DU PHARE DE CORDOUAN.

NUMÉROS et PARAGRAPHES. PAGES.

XII (C). * EXPÉRIENCE FAITE À MONTMÉLIAN,

À 17,400 TOISES DE L'ARC DE TRIOMPHE DE L'ÉTOILE.

[9 octobre 1823.]

ÉTUDES ET EXPÉRIENCES RELATIVES AUX MACHINES DE ROTATION À VOLANT-PENDULE, APPLICABLES AUX PHARES À ÉCLIPSES.

XIII (A). EXTRAIT D'UN RAPPORT SUR LE SYSTÈME D'ÉCLAIRAGE À ADOPTER POUR LE PHARE DU FOUR (α).

[14 janvier 1821.]

XV. LETTRE D'A. FRESNEL À M. ROBERT STEVENSON,

INGÉNIEUR DES PHARES D'ÉCOSSE.

[26 avril 1825.]

NUMÉROS et PARAGRAPHES. PAGES.

XVI (D). NOTE SUR LES PHARES.

[1825.]

APPAREILS DIOPTRIQUES DE PREMIER ORDRE À FEU FIXE, AVEC SYSTÈME ACCESSOIRE CATOPTRIQUE.

XVII. LETTRE D'A. FRESNEL À M. SOLEIL (α).

[14 mai 1825.]

CARACTÈRES DISTINCTIFS DES PHARES.

(*) Dans l'ordre chronologique, le N° XVIII aurait dû être précédé du présent article; mais, d'une part, il se rattache comme appendice au Rapport N° XIX (A), qui a lui-même une intime connexité avec le N° XX (A), et, d'un autre côté, les indications relatives à l'invention des *appareils à courtes éclipses* devaient précéder ces deux rapports.

NUMÉROS et PARAGRAPHES. PAGES.

XX (A). § II. — MOYENS EMPLOYÉS POUR ÉCLAIRER LES PHARES ET VARIER LEURS APPARENCES.

§ III. — OBSERVATIONS GÉNÉRALES SUR LA DISTRIBUTION DES FEUX.

NUMÉROS et PARAGRAPHES. PAGES.

FANAUX CATADIOPTRIQUES À RÉFLEXION TOTALE.

XXI (A). * NOTICE DE L'ÉDITEUR SUR LES APPAREILS CATADIOPTRIQUES D'A. FRESNEL.

XXI (B). DÉTAIL ESTIMATIF D'UN RÉVERBÈRE CATADIOPTRIQUE DE 0^m,20 DE DIAMÈTRE POUR L'ÉCLAIRAGE DES QUAIS DU CANAL SAINT-MARTIN (α).

[27 janvier 1826.]

* (α) [*Document administratif* reproduit comme pièce historique. — L'évaluation approximative, montant à 550 francs, ne comprend pas les len-

EXPÉRIENCES SUR LES PETITS FANAUX CATADIOPTRIQUES.

EXPÉRIENCES SUR L'APPLICATION DE DIVERSES ESPÈCES DE GAZ À L'ILLUMINATION DES PHARES LENTICULAIRES (α).

BEC À GAZ À TROIS COURONNES CONCENTRIQUES.

ESSAIS D'UN BEC À GAZ À CINQ COURONNES CONCENTRIQUES.



XXII (E)*. **Expérience sur le gaz d'huile animale.**

[21 décembre 1826.]

Études relatives au projet de la tour du phare de Belle-Île (α).

XXIII (A). **Rapport sur le projet présenté par l'ingénieur en chef du Morbihan pour le phare de Belle-Île.**

[4 et 7 mai 1825.]

XXIV[13]. A. Fresnel à M. Jecker jeune, opticien.

[8 août 1826.]

XXIV[14]. A. Fresnel à M. Jecker jeune.

[19 août 1826.]



PAGES.

FIN DE LA TABLE ANALYTIQUE DU TOME III.

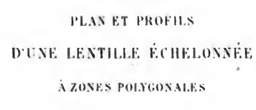
TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS CE VOLUME[1].

PHARES ET APPAREILS D'ÉCLAIRAGE.

[1] Les écrits d'auteurs étrangers sont distingués par un astérisque *.

FIN DE LA TABLE.

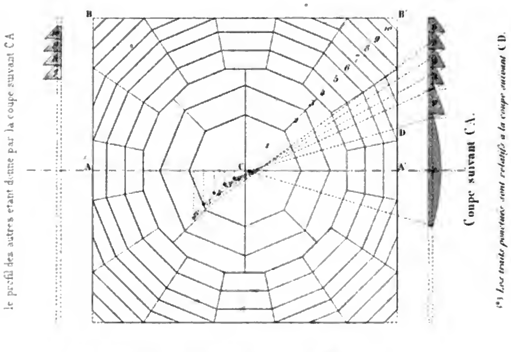


PLAN ET PROFILS

D'UNE LENTILLE ÉCHELONNÉE

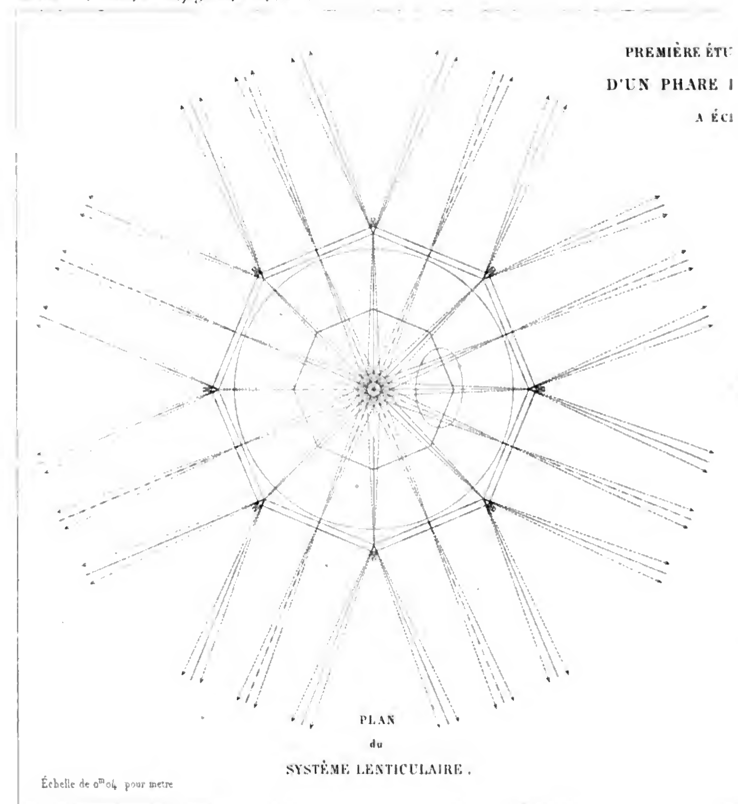
À ZONES POLYGONALES

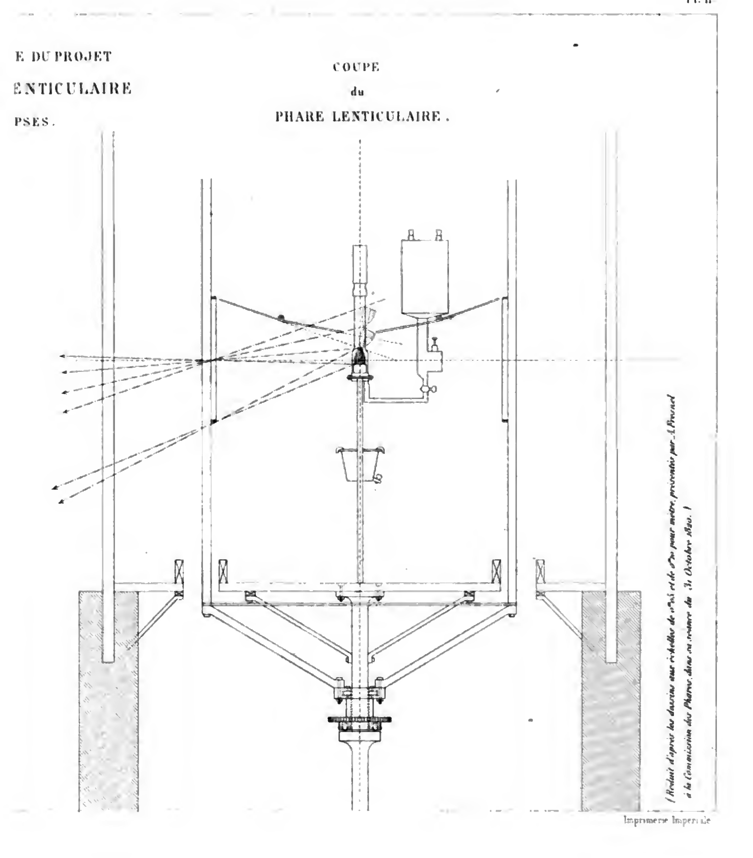
de 0^m76 de côté et de 0^m92 de foyer.



(Réduit d'après l'épure à l'échelle de ¼ présentée par A. Fresnel à la Commission des Phares, dans sa séance du 31 8bre 1820.)

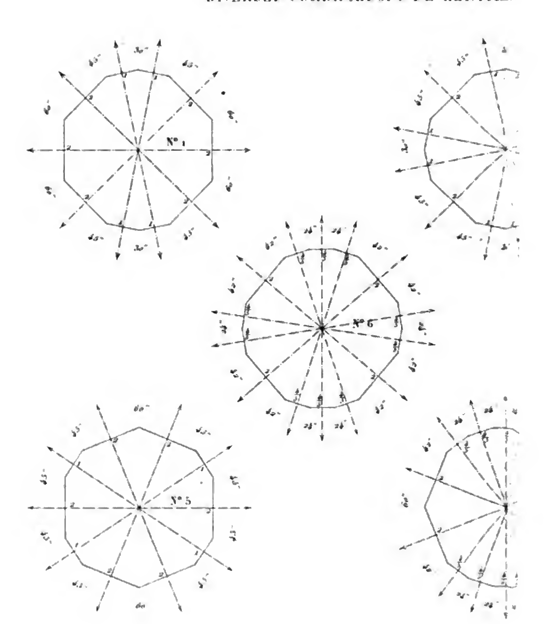
Échelle de $\frac{1}{10}$


PREMIÈRE ÉTU
D'UN PHARE I
A ÉCI
PLAN
du
SYSTÈME LENTICULAIRE.
Échelle de 0m04 pour metre



Imprimerie Impériale

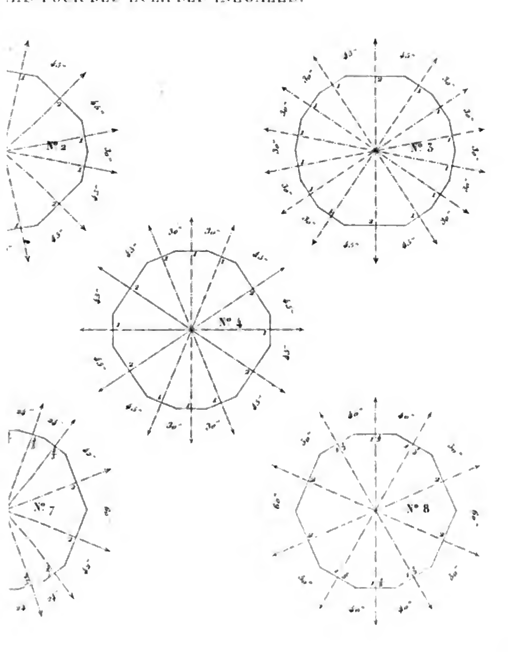
DIVERSES COMBINAISONS DE LENTILLE



Nota.

Les lignes pleines indiquent les projections horizontales des lentilles, et les lignes ponctuées les directions de leurs axes ou des milieux des éclats.

.ES POUR DES ÉCLIPSES INÉGALES.



Nota.

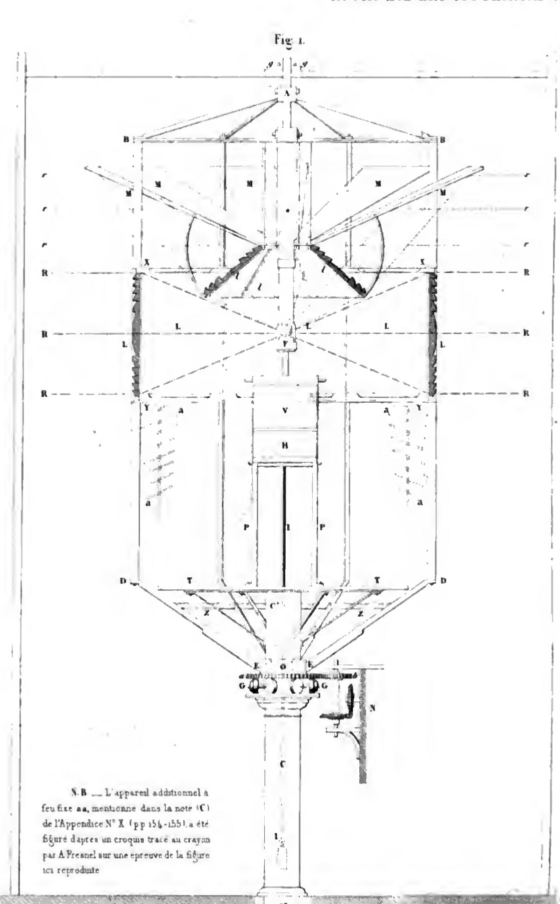
Pour faciliter la comparaison de ces diverses combinaisons, on a supposé que pour chaque phare la durée totale de la révolution était de 8 minutes, et l'on a marqué en secondes les intervalles de temps compris entre les milieux de deux éclats consécutifs.

Les chiffres placés sur chaque lentille indiquent l'intensité de l'éclat qu'elle produira en prenant pour unité celui que donne la lentille essayée par la Commission des Phares.

(Dressé d'après le dessin présenté par A. Fresnel à la Commission des Phares dans sa séance du 31 octobre 1820.)

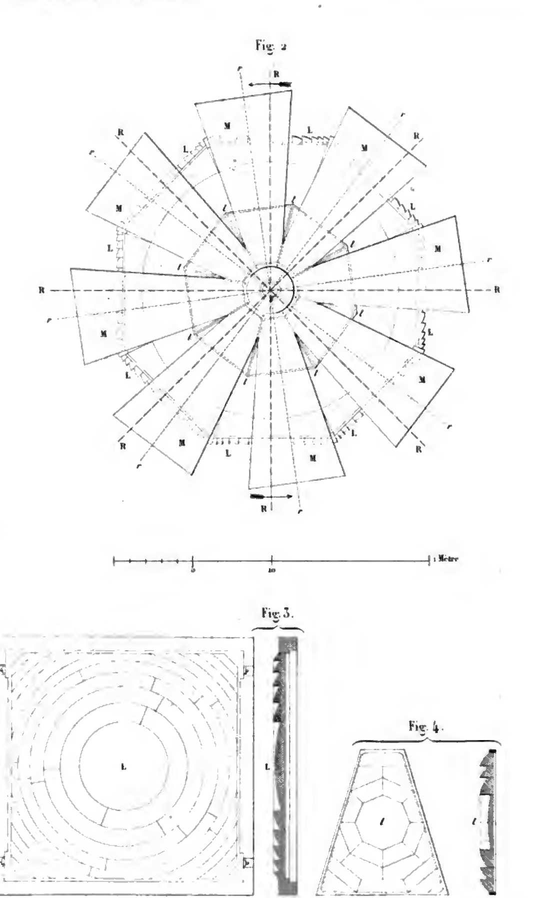
Imprimerie Impériale

APPAREIL LENTICULAIRE PO



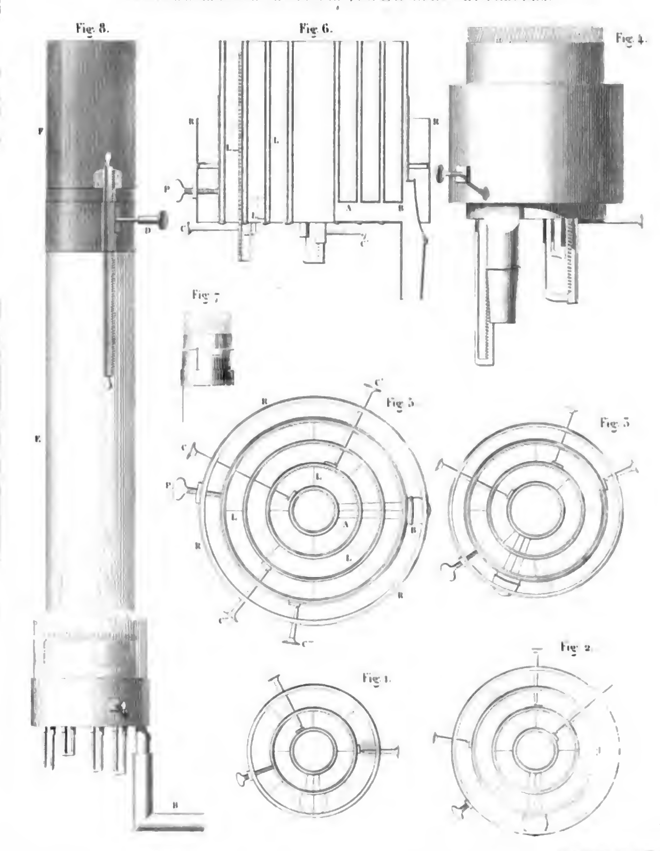
N.B. — L'appareil additionnel à feu fixe aa, mentionné dans la note (C) de l'Appendice N° X (pp. 154-155), a été figuré d'après un croquis tracé au crayon par A. Fresnel sur une épreuve de la figure ici reproduite.

Bulletin de la Société d'Encouragement. N° CCLIX



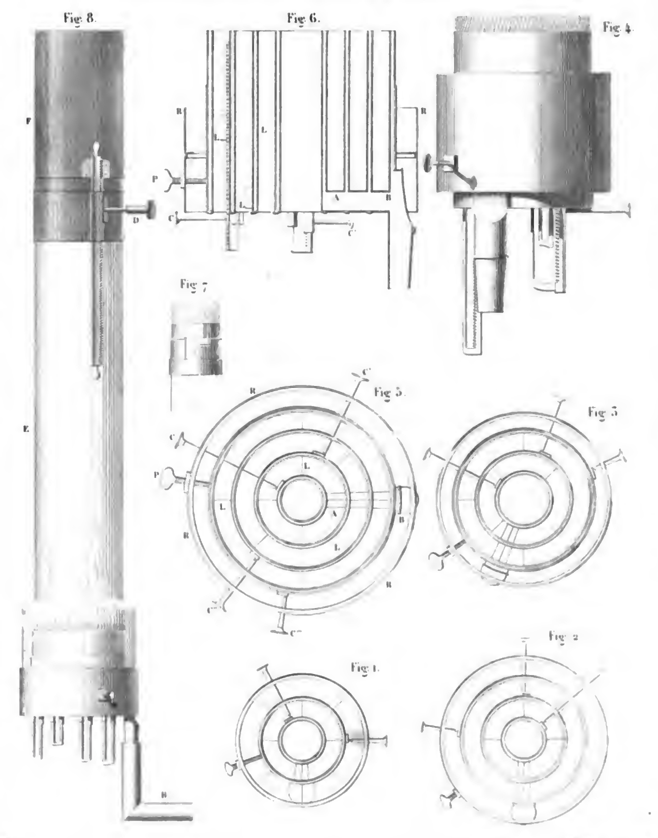
(Bulletin de la Société d'encouragement N° CCXII)

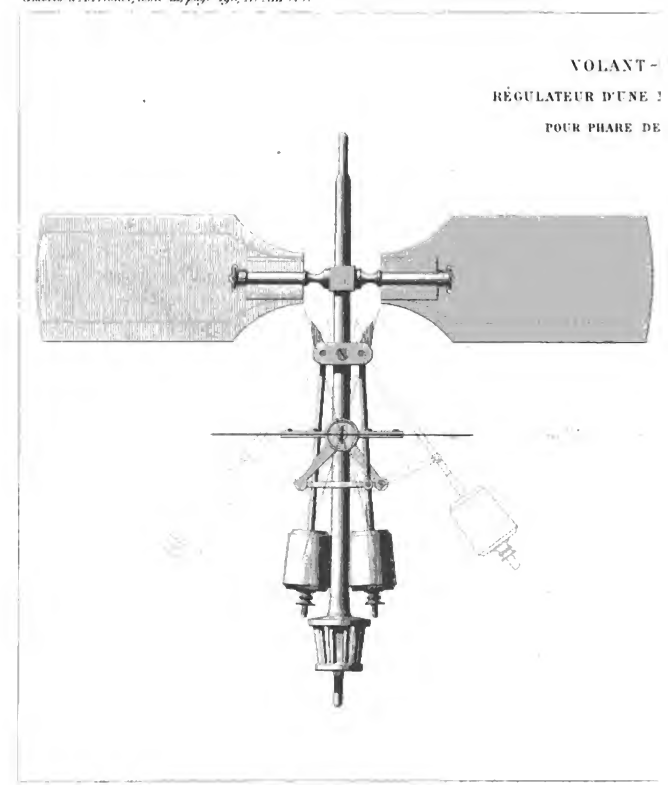
LAMPE À DOUBLE COURANT D'AIR ET À PLUSIEURS BECS CONCENTRIQUES POUR L'ÉCLAIRAGE DES PHARES, DE MM. ARAGO ET FRESNEL.

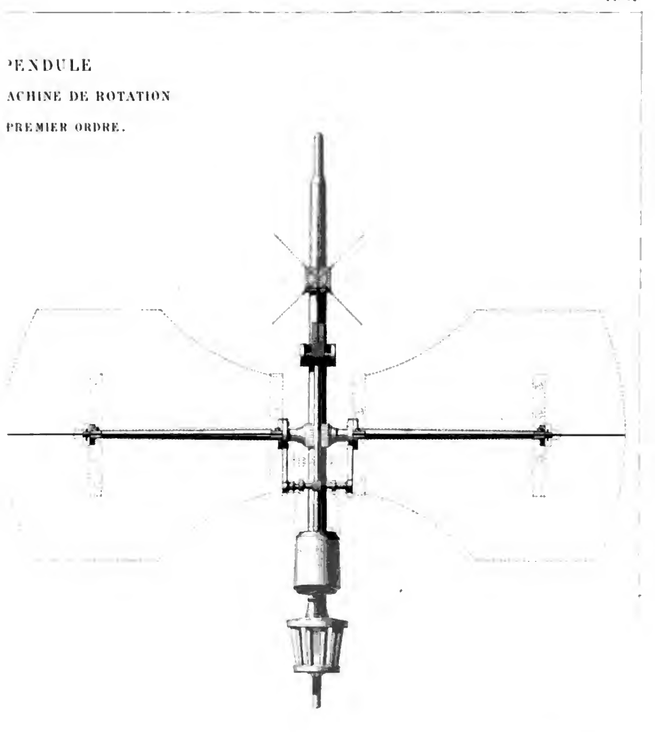


(Bulletin de la Société d'encouragement, N° CCXLV.)

LAMPE À DOUBLE COURANT D'AIR ET À PLUSIEURS BECS CONCENTRIQUES
POUR L'ÉCLAIRAGE DES PHARES, DE MM. ARAGO ET FRESNEL.



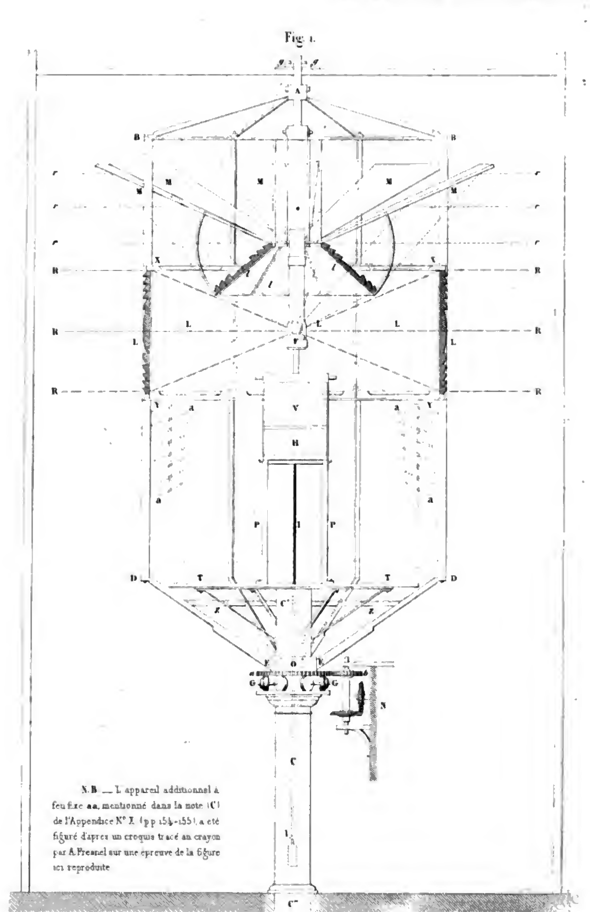

VOLANT-
RÉGULATEUR D'UNE
POUR PHARE DE



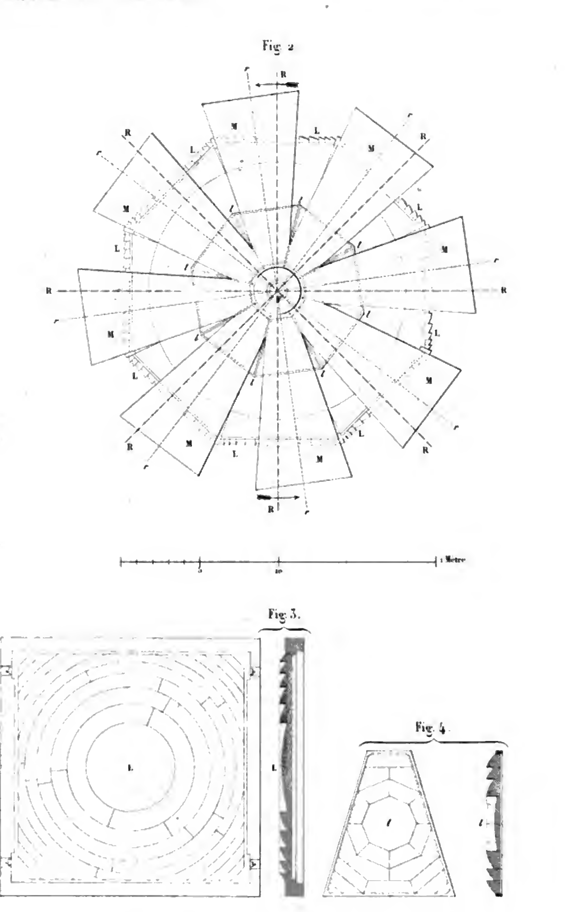
Echelle de

APPAREIL LENTICULAIRE POI

Fig. 1.

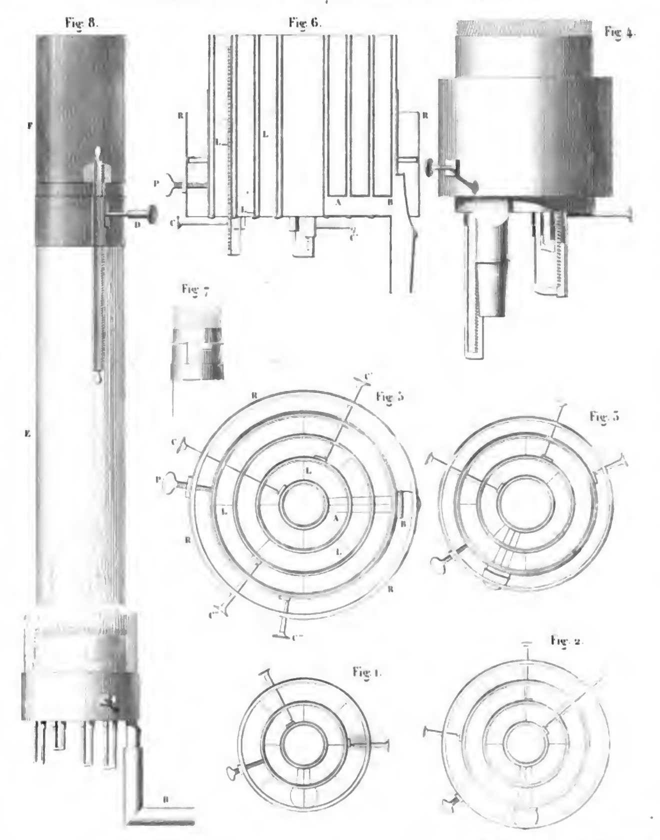


N.B. — L'appareil additionnel à feu fixe **aa**, mentionné dans la note (C) de l'Appendice N° X (pp 154-155), a été figuré d'après un croquis tracé au crayon par A. Fresnel sur une épreuve de la figure ici reproduite.


Fig. 2.
R
M
L
l
r
1 Mètre
5
10
Fig. 3.
Fig. 4.

(Bulletin de la Société d'encouragement N.° CCXIX.)

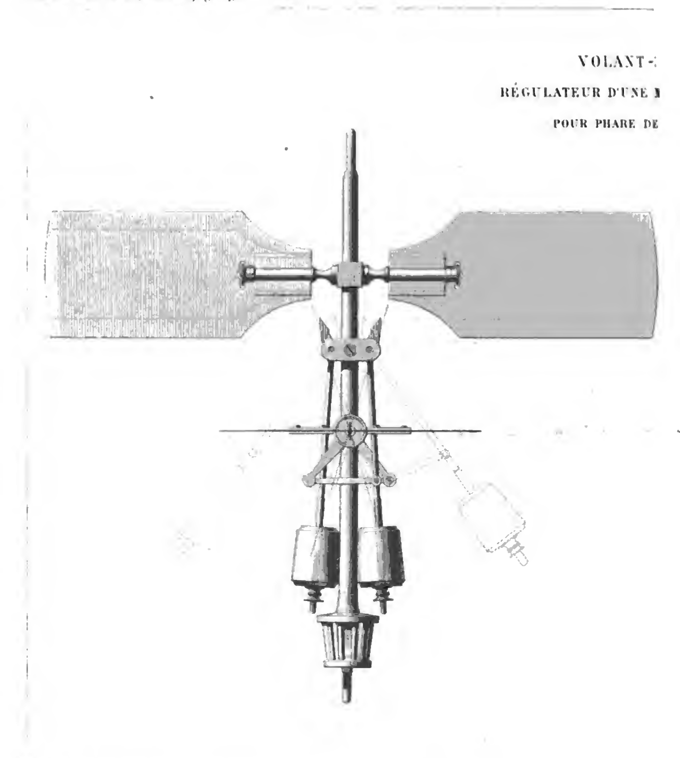
LAMPE À DOUBLE COURANT D'AIR ET À PLUSIEURS BECS CONCENTRIQUES
POUR L'ÉCLAIRAGE DES PHARES, DE M.M. ARAGO ET FRESNEL.



VOLANT-

RÉGULATEUR D'UNE

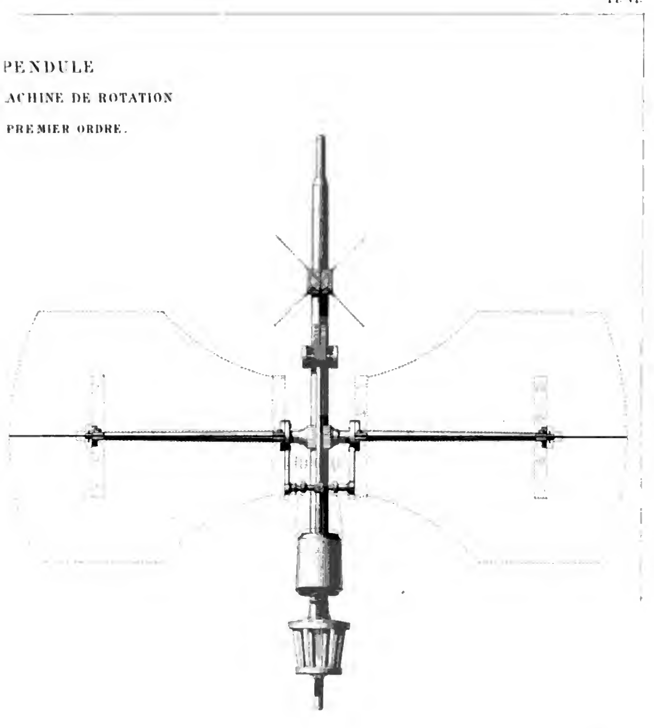
POUR PHARE DE



PENDULE

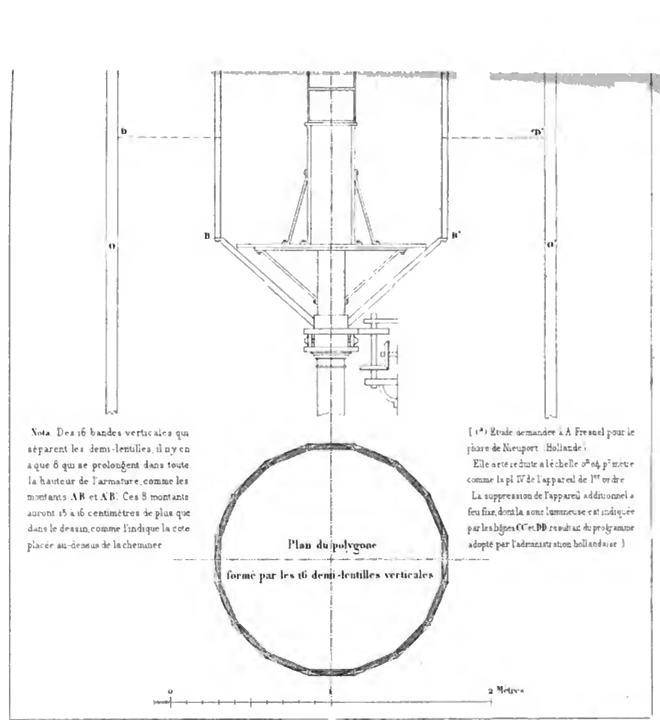
ACHINE DE ROTATION

PREMIER ORDRE.



Echelle de ...

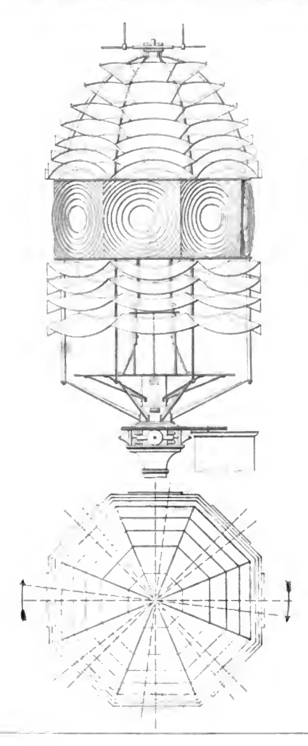



D
D'
B
B'
O
O'
Nota. Des 16 bandes verticales qui séparent les demi-lentilles, il n'y en a que 8 qui se prolongent dans toute la hauteur de l'armature, comme les montants AB et A'B'. Ces 8 montants auront 15 à 16 centimètres de plus que dans le dessin, comme l'indique la cote placée au-dessus de la cheminée
[(*) Étude demandée à A. Fresnel pour le phare de Nieuport (Hollande).
Elle a été réduite à l'échelle 0m04 p.r mètre comme la pl. IV de l'appareil de 1er ordre.
La suppression de l'appareil additionnel à feu fixe, dont la zone lumineuse est indiquée par les lignes CC' et DD' résultat du programme adopté par l'administration hollandaise.]
Plan du polygone
formé par les 16 demi-lentilles verticales
0
1
2 Mètres

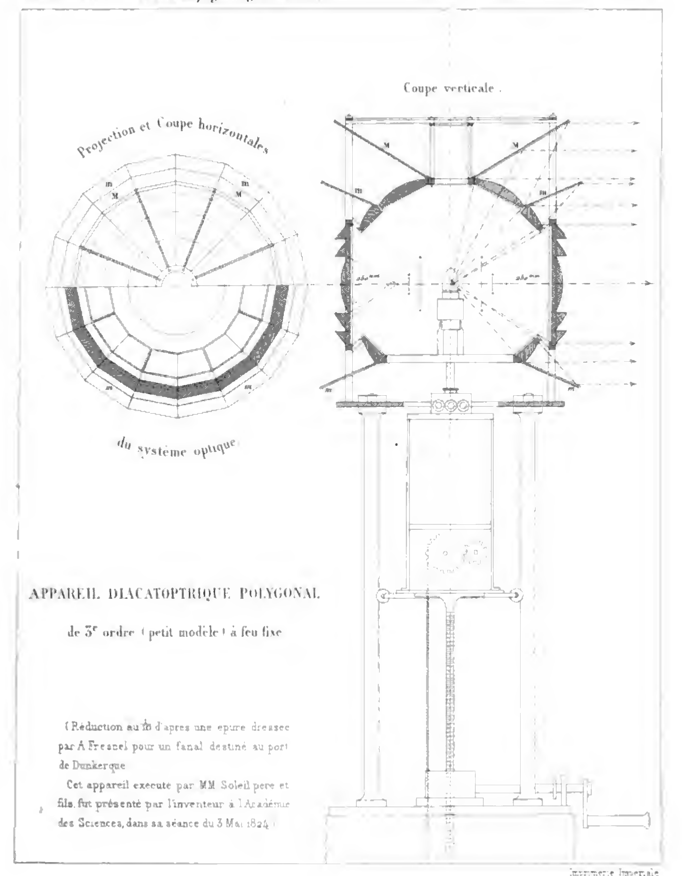
PHARE LENTICULAIRE TOURNANT À ÉCLIPSES TOTALES,

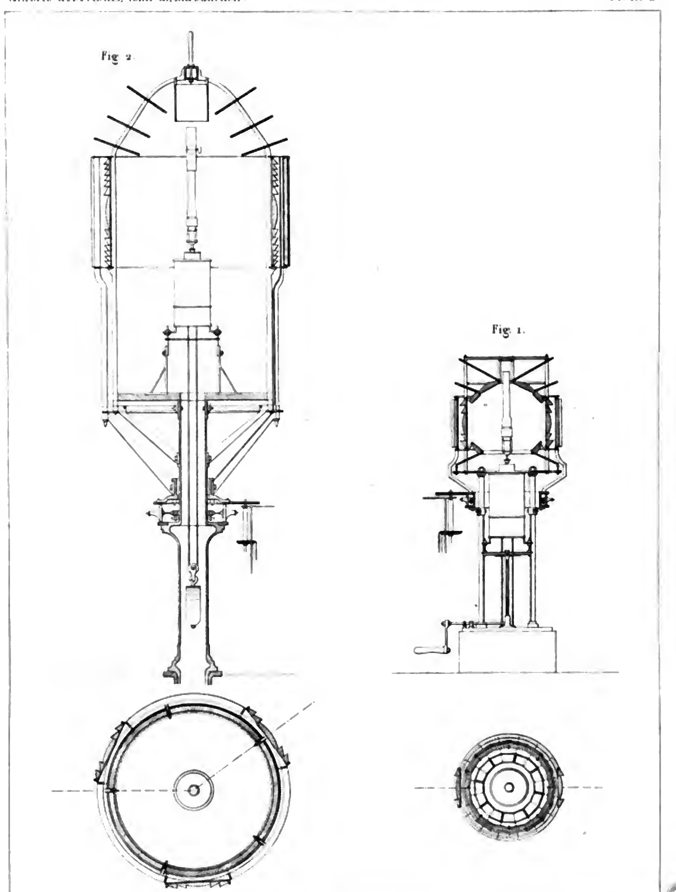
AVEC SYSTÈME ACCESSOIRE CATOPTRIQUE.

ESQUISSÉ D'APRÈS LES INDICATIONS DE LA LETTRE N° XV D'A. FRESNEL A M. R. STEVENSON.



Imprimerie Impériale


Coupe verticale.
Projection et Coupe horizontales du système optique
APPAREIL DIACATOPTRIQUE POLYGONAL
de 3e ordre (petit modèle) à feu fixe
(Réduction au 1/10 d'après une épure dressée par A. Fresnel pour un fanal destiné au port de Dunkerque.
Cet appareil exécuté par MM. Soleil père et fils, fut présenté par l'inventeur à l'Académie des Sciences, dans sa séance du 3 Mai 1824.)



Imprimerie Impériale.

PL X

APPAREIL LENTICULAIRE DE PREMIER ORDRE À FEU FIXE

AVEC SYSTÈME ACCESSOIRE CATOPTRIQUE

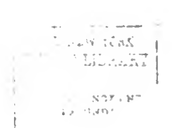
d'après les dessins d'A. Fresnel

Première étude pour l'armature des onze zones de miroirs concaves

Système définitivement adopté pour l'armature des miroirs concaves d'après les dernières indications d'A. Fresnel

Échelle de $0^m,05$ pour mètre

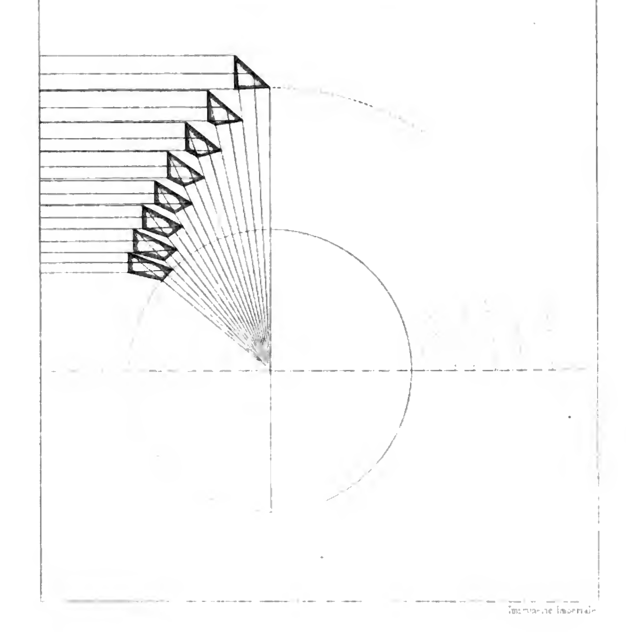
Échelle de $0^m,20$ pour mètre



PREMIÈRE ÉTUDE

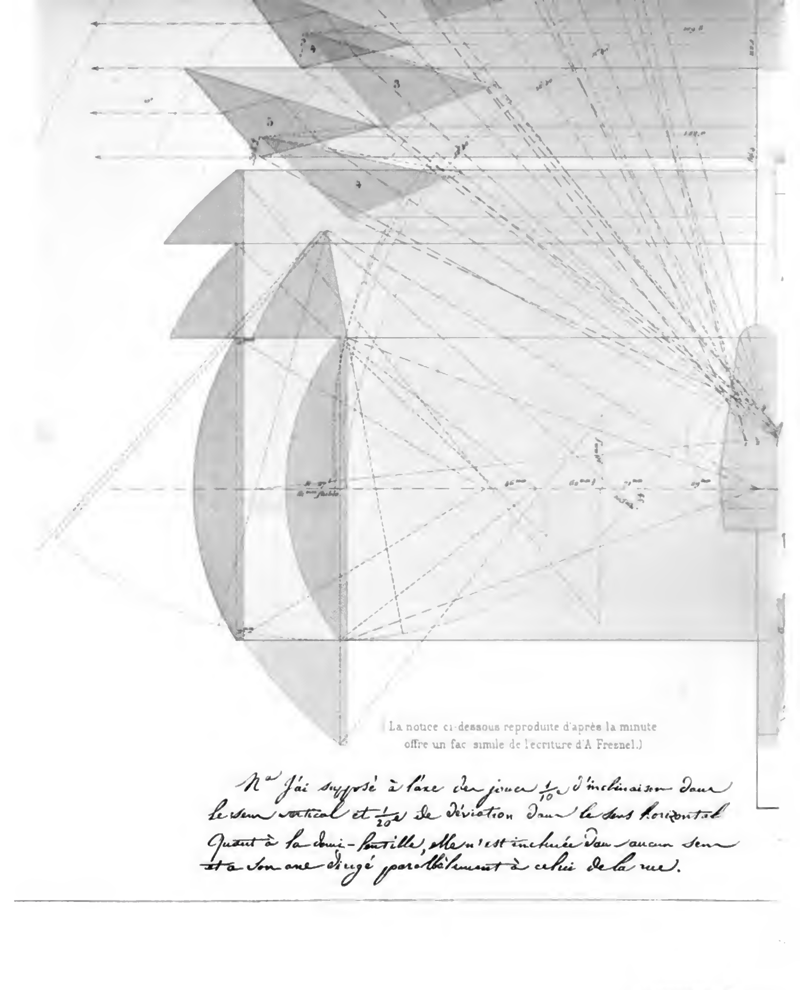
D'UN APPAREIL CATADIOPTRIQUE

À RÉFLEXION TOTALE.



Imprimerie Impériale

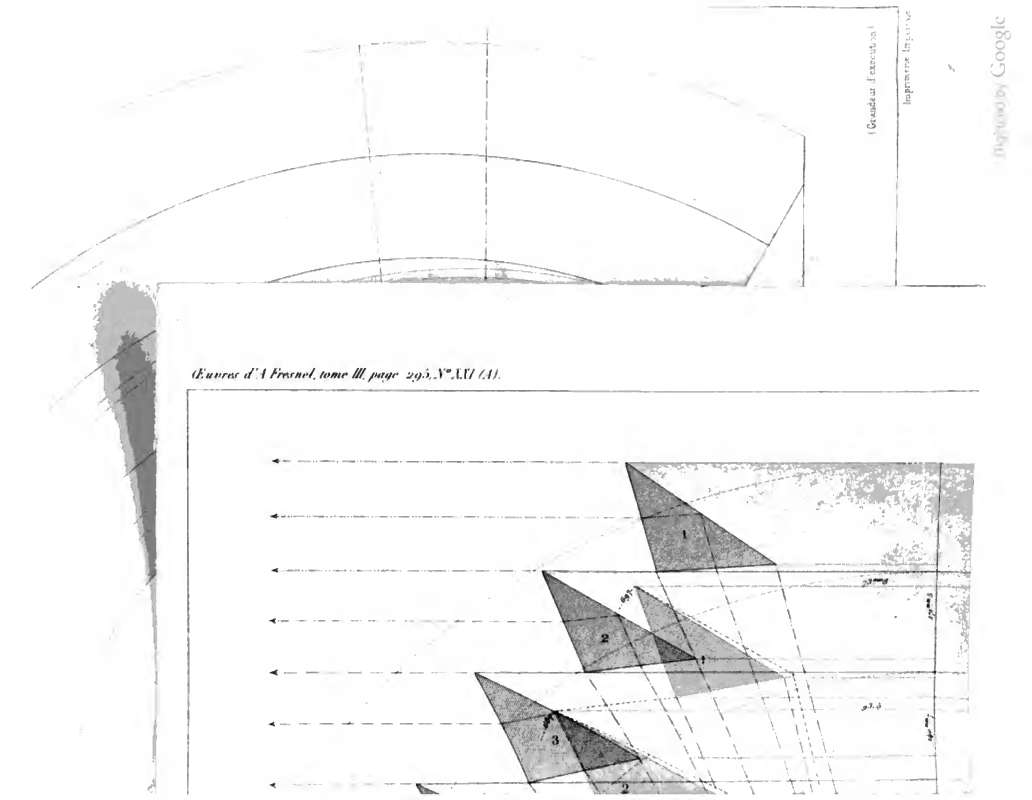


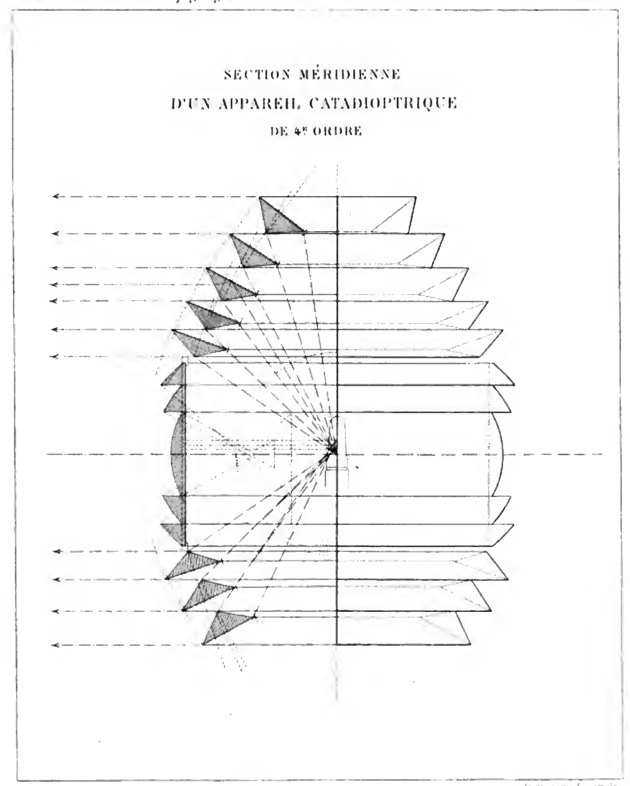


(La notice ci-dessous reproduite d'après la minute offre un fac-simile de l'écriture d'A. Fresnel.)

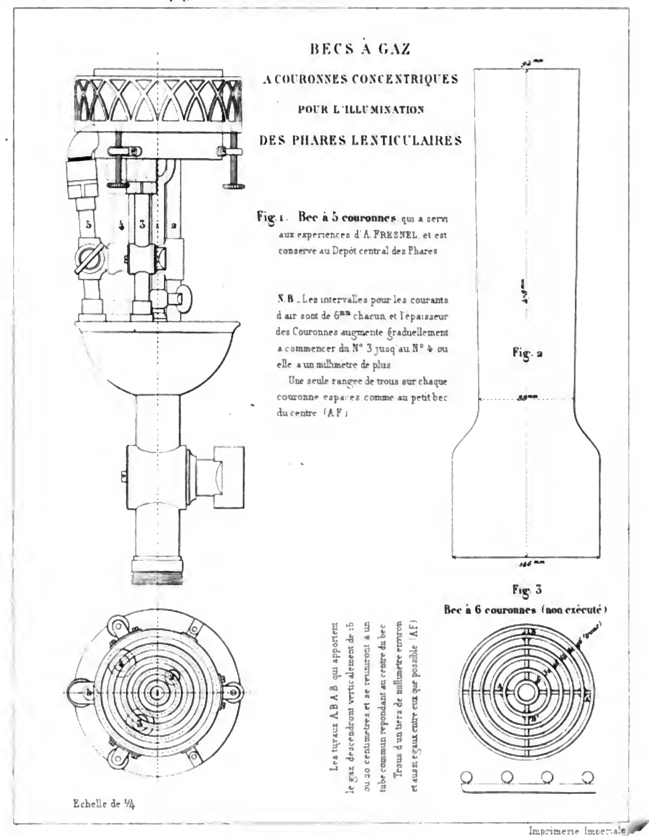
Nª J'ai supposé à l'axe des joues $\frac{1}{10}$e d'inclinaison dans le sens vertical et $\frac{1}{20}$e de déviation dans le sens horizontal. Quant à la demi-lentille, elle n'est inclinée dans aucun sens et a son axe dirigé parallèlement à celui de la mer.

Œuvres d'A. Fresnel, tome III, page 295, N° LVI (A).

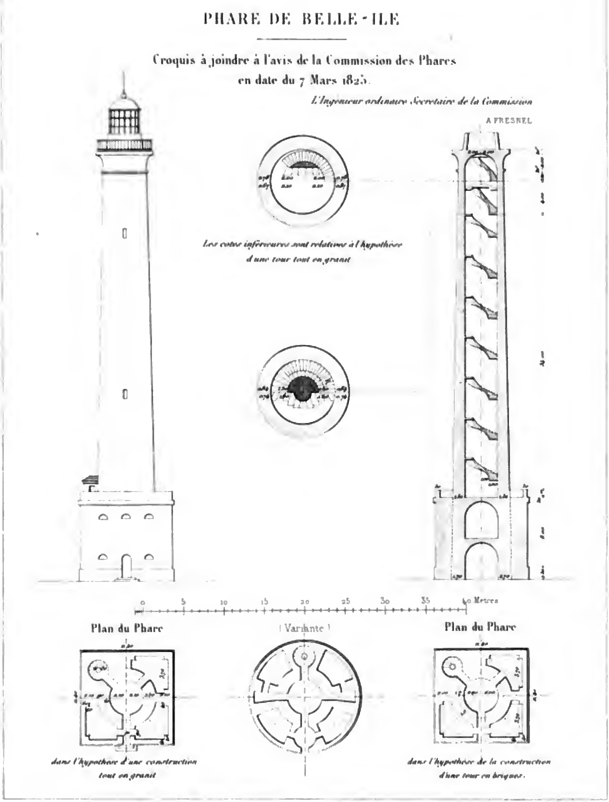




Imprimerie Impériale



Imprimerie Impériale

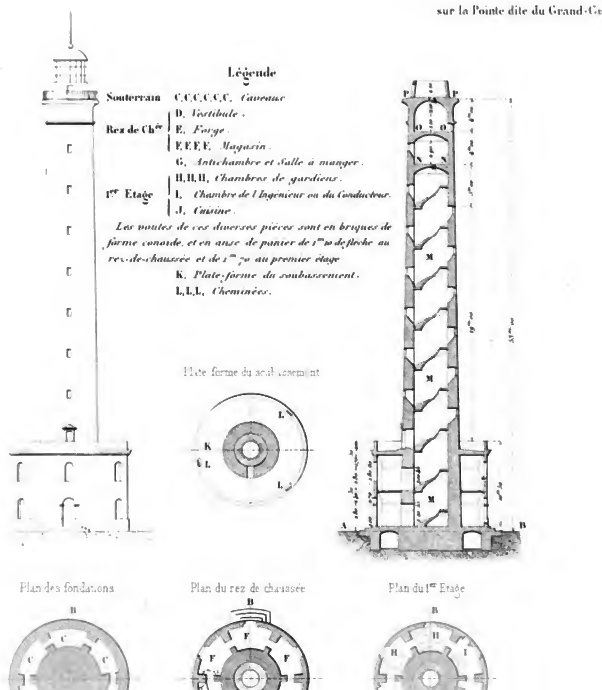


Imprimerie Impériale

PHARE DE

À CONSTRUIRE DANS L'ILE

sur la Pointe dite du Grand-C



1RE CLASSE

DE BELLE-ILE (MORBIHAN)

é, près le petit port de Goulfar.

à la hauteur de NN

Plan de la plate-forme de la lanterne
ou Section horizontale à la hauteur de PP



Section horizontale
à la hauteur de OO



d'une marche du grand escalier
contre le mur de la tour



Section moyenne développée
d'une marche du grand escalier



Extrémité d'une marche du grand escalier
du côté du vide



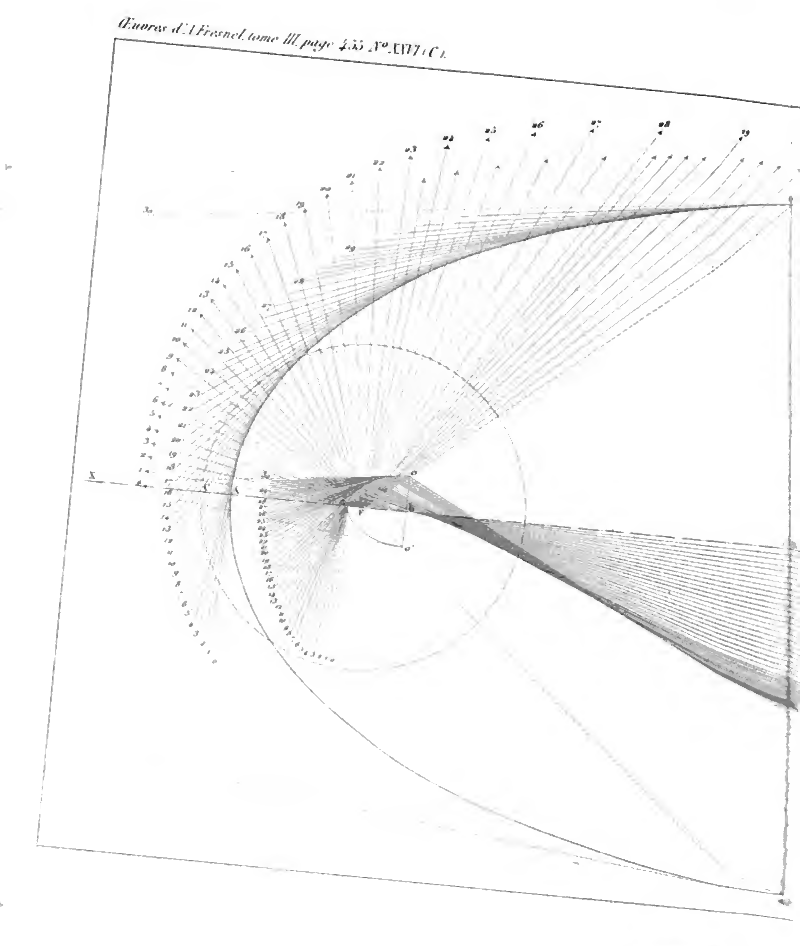
Suite de la Légende

M. M. M. *Grand escalier en vis à jour. Ses marches engagées dans la maçonnerie par leur extrémité la plus large pourraient, isolément, supporter non seulement leur propre poids, mais un poids bien plus considérable, ensorte que si, par une circonstance qu'il n'est guère possible de prévoir, quelqu'une de ces marches venait à manquer, le reste de cet escalier, quelque hardi qu'il puisse paraître, se soutiendrait.*

N. N. *Large palier occupant la moitié de la circonférence de la tour et servant à déposer les fardeaux élevés au moyen d'une poulie fixée dans la voûte supérieure.*

O. O. *Chambre dans laquelle on monte par un petit escalier en pierre de 0^m 80 de largeur incliné à 4 ½ de base pour 4 de hauteur. Celui par lequel on monte au niveau de la plate-forme de la lanterne a 3 ½ de base pour 4 de hauteur afin que sa pénétration dans la voûte ait moins d'étendue. Cette voûte en plein cintre sera entourée d'un cercle de fer encastré dans la maçonnerie et couvert de bitume.*

La tour sera tout en pierre de taille. La lanterne sera conforme au modèle qui sera dressé pour tous les Phares de première classe.



Pl. XVII.

R 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

B C 0 X

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 R'

ÉCLAIRAGE
DU CADRAN DE L'HÔTEL DE VILLE
DE PARIS

TRACÉ
DE LA COURBE GÉNÉRATRICE
D'UN REFLECTEUR
distribuant uniformément la lumière
sur un plateau circulaire

Cette planche offre la réduction à moitié d'une ancienne épure au crayon qui paraît être le résultat de la première étude d'A. Fresnel pour l'éclairage du Cadran de l'Hôtel de Ville de Paris.

Ce Cadran circulaire est projeté suivant son diamètre RCR *qui se trouve ici réduit au vingtième.*

L'axe XX *du réflecteur passe par le centre du Cadran et est perpendiculaire à son plan.*

Sont supposées préalablement déterminées :

1° *La distance* FC *du foyer* F *au Cadran.*

2° *La distance* Fb *du même foyer au plan de l'ouverture du réflecteur.*

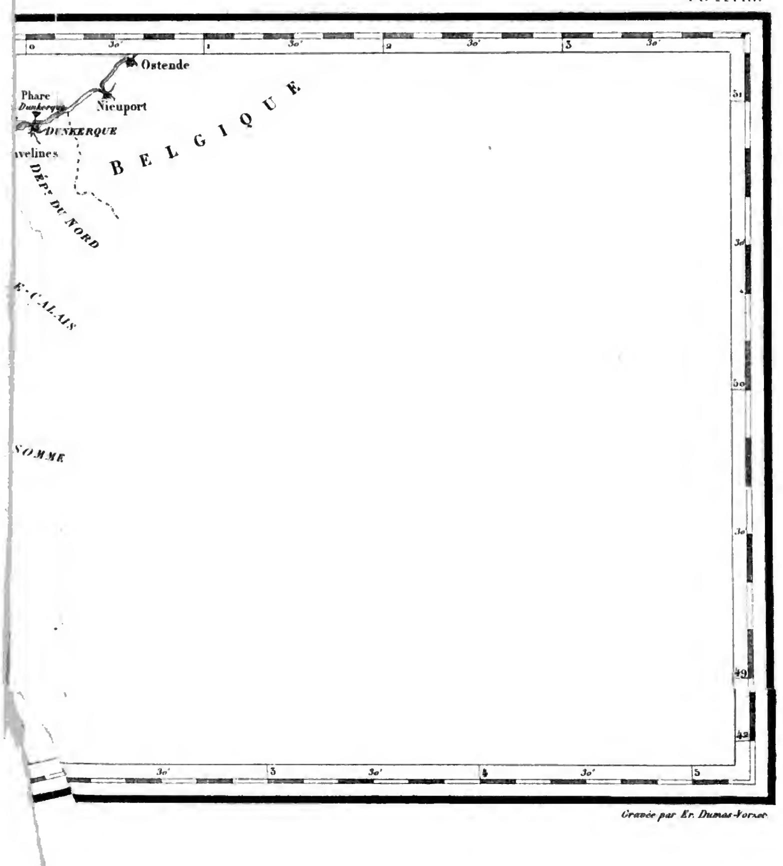
3° *Le diamètre oo' de cette ouverture.*

C'est à l'aide de ces données qu'a été tracée en double à l'échelle du Cadran et à une échelle décuple la courbe génératrice du réflecteur de manière à satisfaire à la condition de l'égale distribution de la lumière réfléchie sur le Cadran.

Sur le dessin original la construction qui n'est ici figurée que pour la moitié supérieure de la courbe génératrice a été symétriquement répétée pour la moitié inférieure afin sans doute d'arriver à une plus grande exactitude en prenant les moyennes entre les ordonnées positives et négatives correspondantes.

Imprimerie Impériale

Pl. XVIII.



Gravée par Er. Dumas-Vorzet.

Gravee par Er. Dumas-Vorzet.






by Google



